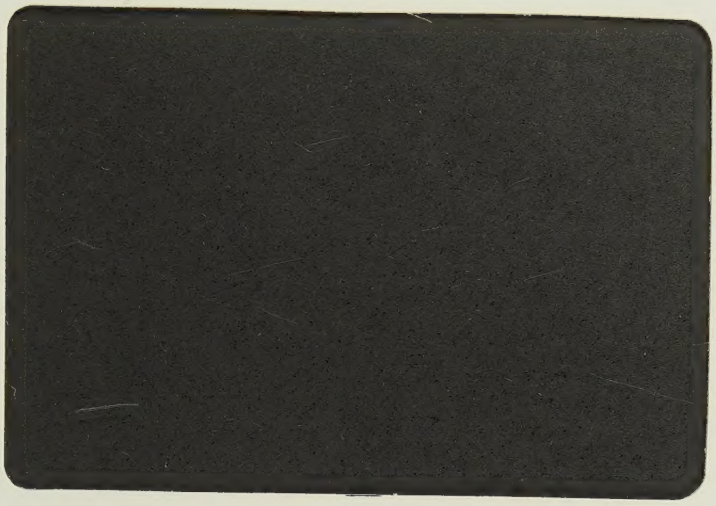
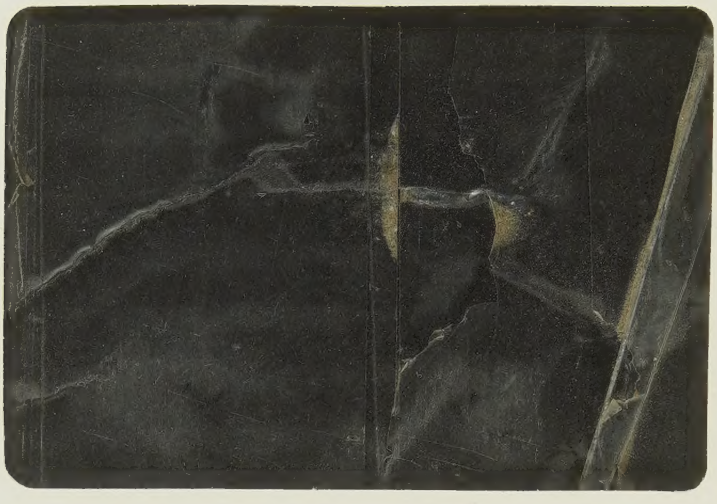


DEPARTMENT OF PHYSICAL GEOGRAPHY

UNIVERSITY OF GÖTEBORG

GÖTEBORG — SWEDEN



VINDKLIMATET I GÖTEBORG

av

Björn Holmer

1978

AKADEMISK AVHANDLING

för filosofie doktorsexamen i geografi (examinator professor Sten Rudberg), som enligt biologisk-geografiska sektionens beslut kommer att offentligt försvaras tisdagen den 30 maj 1978, kl 10 i sal SB, Chalmers tekniska högskola, Hörsalsvägen 1, Göteborg.

Göteborg 1978

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

E R R A T A

Björn Holmer: Vindklimatet i Göteborg

sid	rad	står	skall vara
I	5	sid 1	sid 2
	13	sid 15	sid 17
	14	sid 17	sid 19
	mellan rad 40 och 41 skall skjutas in: 'Det transporterade materialets inverkan på snöspåren sid 95'		
III	19	wind speed	average wind speed
2	39	Findlater	t ex Findlater 1964
3	34	Persson 1936	W Persson 1936
4	16-17	Hindmann	Hindman
5	27	Eriksson 1957	B E Eriksson 1957
	44	Lindqvist 1973a	Lindqvist 1973
6	18	Worming 1883	Worming 1888
	22-23	Samuelsson 1926	C Samuelsson 1926
	41	Runge 1959	Runge 1958
	42-43	Yoshino 1973	Yoshino et al 1973
7	8	Pettersson 1969	Pettersson 1968
	20	Yoshino 1963, 1964b, 1973	Yoshino & Yoshino 1963 och Yoshino 1964b, 1973
8	20-21	Hamm 1967	Hamm 1969
9	30	Meningen: 'Vindökningen med höjden ...' skall inleda nytt stycke	
	32	Shellard 1959	Shellard 1958
10	5	Fort Wayne	Fort Wayne i Indiana
11	9	Owens	Owen
	49	Österberg	Österborg
12	29	i vindtunnel	Johnsson et al (1973) samt i vindtunnel
13	3-4	examensarbete av Johansson &	examensarbete vid CTH av Hansson &
15	13	påverkar	samverkar med
	30	från	mellan
16	Fig 2.1	oltorpsdalen	Toltorpsdalen
	6	plana, har	plana och har
17	12	Samuelsson 1929	K Samuelsson 1928
18	Fig 2.2	Följande teckenförklaring har fallit bort:	
		Sluten kvartersbebyggelse / Closed building blocks	Villabebyggelse / Detached houses
		Fritt grupperad bebyggelse / Freely grouped buildings	Vegetation / Vegetation
19	35	nordspetsen	nordspetsen. I öster, kring Delsjön, finns ett större sammanhängande barrskogsområde
20	40	Gyllstam	Gyllström
23	5 o 7	resulting	resultant
	9	all overresultant	all over resultant
25	24	fig 2.7.a	fig 2.7
	24	enheter	%-enheter
30	3	nederbördsdag högst	nederbördsdag (fig 2.9.c) högst
31	13	sen	den
	16	nämnt	nämnts
34	19	-26°C	-26,0°C
35	4	cloudiness in	cloudiness (b) in
39	21	Grennfelt 1976	Grennfelt 1975
42	35-36	Grennfelt 1976	Grenntelt & Heimler 1976

sid	rad	står	skall vara
43	6	Brosset 1975	Brosset 1976
55	26	rubriken skall vara streckat understruken	
58	1	Fredsberg	Fredberg
60	41	6-8	6-9
62	6	during 10 minutes calculated for	calculated for
63	2	10 minuter	10 minuter eller mindre
	5-6	ett 'knä' (markerat med en pil i figuren) vid 26 resp	ett 'knä' vid 26 resp
	43	fig 9.8.c	fig 9.8.b
69	Fig 4.1	d) och e)	d)
		f) och g)	e)
		h) och i)	f)
		j) och k)	g)
70	31	Cammer	Crammer
80	20	Holmber	Holmer
83	4	lovartspiralen	lovartsidan av husen
	12	i lovartspiralen	på lovartsidan
87	1-2	i bebyggelsen. a/	i bebyggelsen. De svarta pilarna visar anblåsande vindens riktning. a/
	6	built-up area. a/	built-up area. The black arrows show the direction of the incident wind. a/
98	6	fig 6.2.a	6.4.a
	15	fig 6.2.b	6.4.b
107	1	med n	medan
	35	fig 6.4	fig 6.4.a
113	14	6.2.a	6.4.a
		6.2.b	6.4.b
126	44	1970-11-30 coh 1970-12-01	1970-11-30--12-01
131	9	i	is
132	39	Ackert	Ackeret
133	4	Ackert	Ackeret
135	22	(entimetrar)	(Ventimetrar)
140	34	1,6 å	1,6 m
144	38	Linjen slutar	Värdena avtar
147	1	G_i	G_2
148	Fig 7.3 skall kompletteras med spaltnummer		
		I före II (kum. antal) Observationsutjämning	III efter IV (kum.antal)
149	20	mätpunkterna kan	mätpunkterna inte kan
159	1-2	Goldie 1925	Goldie 1925b
159	24	Goldie 1925	Goldie 1925b
165	1	fig 8.1	fig 9.1
165	10 o 12	90%	95%
	18	departure	deviation
174	28	6 -	7 -
181	Fig 9.9 kompletteras med: a) mtp 86		b) mtp 79 c) mtp 133 d) mtp 136
184	1-2	bebyggelsetyper.	begyggelsetyper. 1,0 är medianvärdet för mätpunkterna
192	44	fig 8.1 och 8.2	fig 9.1 och 9.2
215	16	thewake	the wake
223	11	natioal boudaries	national boundaries

VINDKLIMATET I GÖTEBORG

av

Björn Holmer

GÖTEBORGS UNIVERSITET
NATURGEOGRAFISKA INSTITUTIONEN
DICKSONSGATAN 4
412 56 GÖTEBORG

UNIVERSITY OF GÖTEBORG
DEPARTMENT OF PHYSICAL GEOGRAPHY
DICKSONSGATAN 4
S-412 56 GÖTEBORG, SWEDEN

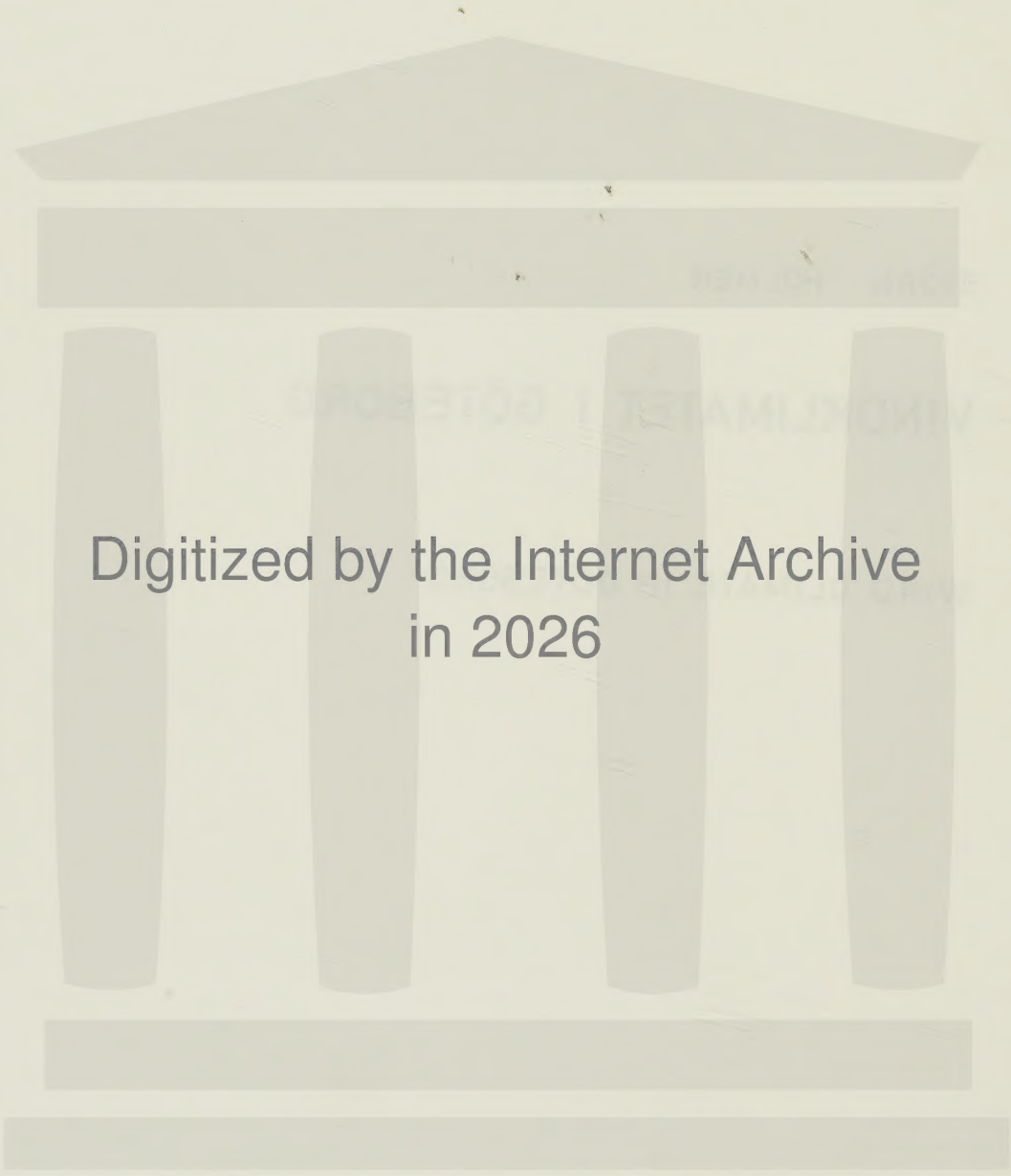
BJÖRN HOLMER

VINDKLIMATET I GÖTEBORG

WIND CLIMATE IN GÖTEBORG

GÖTEBORG 1978

GUNI RAPPORT 11


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544711_0021

INNEHÅLLSFÖRTECKNING sid

FÖRORD IV

1. VINDEN SOM LOKALKLIMATISK FAKTOR 1
Introduktion 1
Lokala vindeffekter 1
Vindpåverkan i kustområden 2
Topografins inverkan på vinden 4
Bebyggelsens inverkan på vinden 8
Vinden kring små grupper av hus 10
Egna undersökningar 13

2. GÖTEBORGS KLIMAT 15
Topografi 15
Bebyggelse 15
Vegetation 17
Klimatologiska uppgifter om Göteborg 19
Vind 20
Nederbörd 27
Snö 31
Temperatur 32
Luftföroreningar 39

3. STORM OCH ORKAN I GÖTEBORGSOMRÅDET 44
Definition av storm och orkan 44
Vindmätare och observationsmetoder vid Vinga 44
Storm- och orkanfrekvens 46
Skadeverkningar av orkaner 48
Diskussion om 'orkanerna' 59
Frekvensen av stormar med stor skadegörelse 60
Mätningar under stormen den 22 september 1969 63

4. METODIK VID UNDERSÖKNINGAR AV VINDRIKTNINGAR I BEBYGGELSEN 67
Direkta observationer av vindriktningar 67
Undersökta vindspårstyper 67
Vindspår i snö (och dimfrost) 68
Kartering av vindspår 75
Teckenförklaring för enskilda karteringar 77

5. VINDRIKTNINGAR INTILL OCH MELLAN BYGGNADER 80
Vindriktningar i bebyggelsen vid tillfällen med samma basvindriktning 80
Exempel på vindriktningar kring hus 80
Vindriktningarnas ändring med ändrad basvindriktning 84
Strömningskomponenter och tolkningsmodell 89
Vindriktningar i oregelbundna husgrupperingar 98

6. VINDRIKTNINGSFÄLT 103
Bebyggelsens inverkan på vindriktningsfältet 103
Topografins inverkan på vindriktningsfältet 118
Förmodade avvikelser i vindriktningarna strax ovan hustaken 122
Möjligheter att observera strömningen över hustaken 130

7. METODIK, MÄTUTRUSTNING OCH PRECISION VID UPPMÄTNING AV VINDHASTIGHETER I BEBYGGELSEN 135
Mätslingor 135
Mätpunkternas representativitet 136
Mätningar av vindhastighet 140
Databehandling och statistisk bearbetning 143
Mättidens längd 144
Skillnad mellan olika observatörer 145
Observationsutjämning 146
Korrektion för vindändring 149
Mätprecisionen hos ventimetermätningarna 151
Skillnad mellan ventimeter- och vindvägmedelvärde 152
Skillnad mellan Ventimeterns median- och medelvärde 153

8. VINDENS BYIGHET 155
Mätartypens inverkan på uppmätning av vindstötar 155
Mättidens inverkan på uppmätt vindhastighet 155
Vindfördelningen 159
Byindex 161
Vindriktningsindex 162

9. VINDHASTIGHETEN I BEBYGGELSEN 164
Vindreduktionen i bebyggelsen i Göteborg 164
Vindreduktionen i små tätorter 168
Vindhastighetens variation inom ett bebyggt område i Gårdsten 171
Faktorer som modifierar vindhastigheten inom bebyggelsen 174
Spridningen kring regressionslinjerna 178
Stora avvikelser från regressionslinjerna 180

10. RELATIV VINDHASTIGHET 183
Relativ vindhastighet i olika bebyggelsetyper 183
Frekvensen av höga relativa vindhastigheter 185
Vindhastighetens beroende av vindriktning, bebyggelsens utformning och topografiskt läge 186
Relativ vindhastighet intill och mellan långsträckta hus 189
Vindriktning med högsta vindhastighet mellan byggnader 192
Relativ vindhastighet före och efter lövsprickningen i olika bebyggelsetyper 192
Vindändring orsakad av lövsprickningen i gator med alléträd 194
Variationer i relativa hastigheten under en mätomgång 196
Fördelningen av relativa vindhastigheter i Göteborg 198

11. SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION AV TILLÄMPNINGSMÖJLIGHETER 200
Målsättning 200
Göteborg och dess klimat 200
Storm och orkan i Göteborgsområdet 201
Vindriktningar mellan hus 201
Vindhastigheter i bebyggelsen 202
Mätningarnas representativitet 204
Några möjliga tillämpningar 204
Slutkommentar 206

12. SUMMARY 207
Purpose 207
Göteborg and its climate 207
The urban landscape 207
Wind 207
Precipitation 207
Temperature 208
Storms and hurricanes in the Göteborg area 208
Wind directions between buildings 208
Methods 208
Change in base wind direction 208
Interpretation model 209
Irregular building groups 209
Topography 209
Wind speeds between buildings 209
Methods 209
Reduction of wind speed 210
Gustiness 210
Variations of wind speed 210
Representativness of the measurements 211
Some possible applications 211

LITTERATUR 213

F Ö R O R D

Mina undersökningar av vinden i bebyggelsen påbörjades som ett seminariearbete på förslag av professor Sten Rudberg. Sedan hösten 1969 har arbetet bedrivits med avsikt att resultera i en avhandling för doktorsexamen.

Handledare har varit professor Sten Rudberg. Under arbetets gång har han läst flera preliminära manuskript och gett kritiska synpunkter som bidragit till avhandlingens utformning. Dessutom har han ställt Naturgeografiska institutionens resurser till förfogande för framställningen av avhandlingen.

Fältarbetet har haft två inriktningar:

1) mätlag har utfört direkta uppmätningar av vinden; huvuddelen av mätningarna är utförda maj 1971 - juni 1972 och juni 1974
2) karteringar av vindspår utförda vid lämpliga tillfällen 1969 - 1977.

Finansiellt bistånd till fältarbetet har erhållits av Svenska Sällskapet för Antropologi och Geografi (André-fonden), Geografiska föreningen i Göteborg och 'Ograduerade forskare'.

En tidig version av avsnitten om vindspår och tolkningen av dessa har genomgåtts av docent Thorsten Stenborg. Slutmanuskriptet har granskats av professor Sten Rudberg. Det har också blivit genomgånget av docent Sven Lindqvist och fil dr Margit Werner. Den engelska sammanfattningen har dessutom korrigerats av Birgitta Kroeber.

Renskrivningen av manuskriptet har utförts av Birgitta Kroeber och Gunvor Widlund. Kartor och figurer har till allra största delen ritats av Birgit Jertborn och en mindre del av Elisabeth Cederbom, som också bidragit till utformningen av detaljkartorna av bebyggelsen.

För ovan nämnda insatser, till dem som medverkat under fältarbetet, till dem som hjälpt mig med framställningen av avhandlingen - bland dem inte minst min fru Lena - vill jag framföra ett varmt tack.

Göteborg i april 1978

Björn Holmer

Kartor och figurer över bebyggelsen är godkända ur sekretessynpunkt för spridning. Statens lantmäteriverk 1978-04-20.

1. VINDEN SOM LOKALKLIMATISK FAKTOR

Introduktion

Att topografi och bebyggelse orsakar avvikelser i klimatet är sedan länge känt. De tidiga handböckerna av Geiger (1927) och Kratzer (1937) ger goda exempel på detta. Intresset har emellertid i mindre grad gällt vindförhållandena. I de fall då vinden undersökts har det i första hand gällt förekomsten av termiska vindsystem - topografiskt betingade (berg- och dalvind) eller bebyggelsebetingade (Flurwind).

Kunskapen om vindens variationer i landskapet har efter hand förbättrats åtskilligt, vilket Yoshinos handbok (1975) ger besked om. Däremot tycks vinden mellan husen i bebyggda områden fortfarande vara ett ingenmansland mellan tekniker och naturvetare. På flera håll i landet har emellertid denna brist börjat uppmärksammas och inom några år bör man ha betydligt bättre grepp om vilka vindhastigheter och vindriktningar som förekommer i olika typer av bebyggelse.

Att kunskap om vinden i ett bebyggt område är av stor betydelse kan lätt konstateras i samband med den förödelse som följde på en så extrem händelse som den storm som drabbade Göteborg den 22 september 1969. Sedan årtionden tillbaka har också betydande arbete lagts ner på vindtunnelundersökningar av vindlaster på byggnadsmodeller. Pionjärarbete utfördes bl a av Irminger & Nökkentved (1930). Ibland har resultaten blivit missvisande beroende på otillräcklig kunskap om den naturliga vinden, vilket Jensen (1953) var en av de första att påvisa. Nya byggnadsmaterial och höga byggnader har gett ett än större intresse att studera hur höga byggnader påverkas av höga vindhastigheter, vilket markeras av åtskilliga konferenser och symposier på internationell (t ex National Physical Laboratory 1963) och nationell (t ex Byggforskningen 1969) nivå.

Medvetenheten om luftföroreningarnas skadliga inverkan på människor, djur, växter och material har medfört intresse av att undersöka luftspridningen över och inom bebyggelsen (WMO 1970, Lighthill & Silverleaf 1971). I dessa sammanhang är det särskilt den dåliga ventilationen vid låga vindhastigheter i samband med inversioner som varit föremål för undersökning.

Ett visst intresse har också knutits till komfortsynpunkter på vindklimatet i ett område (Lighthill & Silverleaf 1971, Ryd 1974, Dubinsky 1976). Det innebär att man inte endast vill undvika direkt skadliga effekter av höga resp. låga vindhastigheter utan också är intresserad av mer alldagliga, men obehagliga effekter vid vanliga vindriktningar och måttliga vindhastigheter. Olgyay (1963) har ingående diskuterat hur klimatdata skall användas vid designen av bebyggelse i olika klimatområden

och i läroboksform har likartade synpunkter förts fram av Mather (1974). I Tyskland har man arbetat med att ange riktlinjer för hur man med placering och typ av bebyggelse och vegetation kan länka kalluftflöden in i bebyggelsen för att förbättra luftkvaliteten (Städtebauliche Klimafibel 1977). Ett svenskt försök till värdering av det av topografin påverkade klimatet har utförts av Mattsson (1974 och 1975).

Lokala vindeffekter

Lokal påverkan av vinden kan ske i många olika omgivningar, t ex kustområde, kuperat landskap, bebyggelse och vegetation. Man kan emellertid dela upp effekterna i två huvudgrupper, termiska och dynamiska effekter.

I den första gruppen orsakas vinden av att värmeegenskaperna medför att temperaturen och därmed även lufttrycket blir olika i skilda delar av området, vilket ger upphov till lokala vindsystem: land- och sjöbris, berg- och dalvind samt Flurwind. Dessa framträder tydligast under situationer med svag vind och med ringa molnmängd. Av dessa har sjöbrisen den i Göteborg mest märkbara effekten, men jag har noterat både topografi- och bebyggelsestyrda termiska vindeffekter i Göteborg. Några speciella studier har dock ej genomförts.

I den andra gruppen kommer turbulens, virvlar och vridningar att modifiera strömningen över området. Vindhastigheten nu är högre än under de förhållanden, då termiska vindsystem kan uppkomma. Naturligtvis finns det även övergångsformer mellan de båda huvudgrupperna.

Vindpåverkan i kustområden

Land- och sjöbris

Sjöbrisen uppkommer genom att en landyta värms upp snabbare än en vattenyta. Uppvärmningen medför att isobarytorna lyfts i höjden över land, vilket orsakar en strömning ut över vattnet på högre nivå. Denna transport av luft kommer att ge en tryckökning vid vattenytan och en tryckminskning vid landytan, vilket sätter igång en luftström in mot land, sjöbris. Nattetid är förhållandena omvända men beroende på att temperaturskillnaderna blir mindre så blir vindhastigheten lägre (Liljequist 1962).

Sjöbrisen börjar resp. slutar 3-5 timmar efter soluppgången resp. före solnedgången (Gill 1968). På eftermiddagen sträcker den sig ofta ca 3 mil inåt land (Findlater 1964) men kan nå mer än 15 mil in (Smith 1974). Gränsen mellan den luft som förs in med sjöbrisen och luften över land är ofta mycket tydlig och kan då kallas för en sjöbrisfront. Dess gradvisa inträngande över land kan följas som diskontinuiteter i termohygrogram (Lyons & Olsson 1973). Ibland kan sjöbrisfronten observeras som en rad cumulusmoln (Find-

later 1964, Rowles 1972, Bhumralkar 1973, Lyons & Olsson 1973). Den kan emellertid också vara utan synliga ändringar av luften men kan då påvisas med radar (Smith 1974).

Effekten av corioloskraften på sjöbrisen är liten beroende på strömningens förhållandevis ringa längdutsträckning, men den kan yttra sig i att vinden vrids från t ex V vid middagstid till NV sent på eftermiddagen, solgångsvind. Undersökningar av Anto (1977) på ön Sylt har visat att den klockvisa vridningen finns både soliga och mulna dagar men att dygnsvariationen är tydligare under de soliga dygnen. Lokala förhållanden kan dock helt störa denna vridning (Gill 1968).

Sjöbrisens vertikala utsträckning varierar mellan ett hundratal meter och mer än en kilometer (Lyons & Olsson 1973). Vid undersökningar av sjöbrisens utsträckning har tetroonballonger (tetraederformade ballonger med konstant volym) visat sig vara ett gott hjälpmedel (Angell & Pack 1965, Lyons & Olsson 1973). Teoretiska beräkningar av sjöbrisen har utförts av Estoque (1961).

Längs den svenska kusten har sjöbrisen undersökts av Grenander (1912). Han har kunnat påvisa små lufttrycksunderskott mellan observationerna kl 8 och 14 för kustnära landstationer, medan fyrstationer vanligen haft en liten tryckökning. Dessutom förändras riktningsfrekvenserna mellan kl 8 och 14 så att det blir högre frekvens för vind från havet vid den senare tidpunkten. För Strömstad, som är den enda redovisade västkuststationen, ökar frekvensen med drygt 8%-enheter mellan kl 8 och 14.

Sjöbrisdagar utmärks av minskad dygnsvariation hos lufttemperaturen. Vid östersjökusten i Östtyskland konstaterade Franck et al (1972) en genomsnittlig skillnad på 8° mellan klara dagar med pålandsvind (sjöbris) och med frånlandsvind.

Sjöbrisen är ofta förknippad med en vindökning. En sådan ingår emellertid också i vindens normala dygnsvariation och kan således inte ensam tas som tecken på sjöbris. I Sverige har vindökningen på inlandsstationer undersökts av Hjeltström (1877), Ångström (1932) och Persson (1936).

Högre vindhastighet över området

Undersökningar av vindens ändring vid en ändring av underlagets råhet är vanligen hållna på ett abstrakt matematiskt plan och ger föga konkret information om vindförhållandena, t ex Panofsky & Townsend (1964) och Bradley (1968).

Uppmätningar vid Bodensjön (Mühleisen 1977) har visat att frekvensen av hårda vindar är betydligt högre vid de stationer som har pålandsvind än de som vid samma tillfällen har frånlandsvind.

Topografins inverkan på vinden

Berg- och dalvind

I situationer där vinden över området är svag kan temperaturskillnader i dalgången ge upphov till ett eget aktivt vindsystem. Dagtid kommer luften att strömma uppströms dalen och uppför sluttningarna (dalvind). Nattetid blir strömningsriktningen den omvända (bergvind) (Geiger 1961, Yoshino 1975). Defant (1949) har med pilotballongviseringar visat att det luftskikt som ingår i denna strömning är relativt grunt. Den maximala vindhastigheten uppnås på ca 30 m höjd. Buettner & Thyer (1966) anser att dalvindens maximala vindhastighet ligger på ca 1/4-1/3 av dalens relativa höjd.

Den av Defant (1949) uppställda modellen visar att när dalvinden blåser sjunker luften i dalgångens mitt som kompensation för den uppåtstigande luften vid dalsidorna. Detta visas på ett slående sätt med flygbilder av upplösning i ett stratusmolntäcke av Hindmann (1972).

Den enkla modellen av berg- och dalvind har modifierats av Urfer - Henneberger (1970). Hänsyn tas av dem till strålningsförhållande, exposition och dalriktning. 'Dalvind' som blåser nedströms på grund av att det utanför dalmynningen genom uppvärmning uppstått ett område med lågt lufttryck har konstaterats av Schüepp et al (1963). Interaktion mellan virvelbildning från en starkare vind över området och dalvind har undersökts av Yoshino (1975).

Högre vindhastighet över området

Vid högre vindhastighet över området modifieras strömningen dynamiskt av topografin. Beroende på vindriktning och terrängens utformning kommer den lokala strömningens hastighet och riktning att förändras genom vindvridningar och virvlar.

På en lovartsluttning med lutning på 3-10° fann Kaiser (1954) att nära krönet ökades vindhastigheten med 50-65%. På läsidan blev det mer komplicerade förhållanden. Vid svaga vindar (mindre än 4 m/s) följde vinden den flacka läsluttningen (2-4°) och vindhastigheten reducerades i ringa grad. Vid vindhastigheter mellan 5 och 10 m/s erhölls virvelbildning som ca 300 m från kammen gav en vindreduktion med 30% och som på 5-600 m avstånd gav en vindökning. Liknande resultat har även erhållits av Kreutz (cit av Yoshino 1975).

I ett småkuperat terrängavsnitt med en höjdskillnad på 10-15 m utförde Nägli (cit av Yoshino 1975) en noggrann undersökning med tätt placerade vindmätare (ca 5 m avstånd). När vinden blåste tvärs mot terrängens längdutsträckning varierade vindhastigheten med ± 60% kring medelvärdet för samtliga mätare. När vinden blåste parallellt med terrängens längdutsträckning varierade de uppmätta hastigheterna med 20-30%. I stort sett hade ryggarna

de högsta vindhastigheterna och sänkorna de lägsta oavsett strömningsriktning.

Vindökningen med höjden på en kulle är också beroende av både kullens form och luftens temperaturskiktning. Frenkiel (1962) fann att på ett isolerat koniskt höjdparti i en bred dalgång var vinden ibland högre på 10 m höjd än på 40 m. På ett lika högt men mer utsträckt höjdparti kunde samma effekt spåras för vissa vindriktningar, där terrängens lutning motsvarade den isolerade kullens. Med ökande stabilitet hos luftskiktningen blev vinden på 40 m höjd förhållandevis högre än vinden på 10 m höjd. Märkligt nog var vindökningen större på eftermiddagen än på förmiddagen vid samma vertikala temperaturgradient.

I Rhendalen undersökte Bjelanovic (1967) några profiler tvärs över dalgången, tyvärr endast när vinden blåste längs dalen. Något speciellt samband med topografin kan knappast utläsas ur hans mätningar. Vegetationen i den närmaste omgivningen av mätplatserna tycks vara av större betydelse för vindhastigheten.

Anblåsningsriktningen mot dalen påverkar turbulensen. I ett alpområde fann Steinhauser (1950), att när vinden blåste vinkelrätt mot en bergskam ökade turbulensen på läsidan, vilket gav upphov till genomsnittligt högre vindhastighet och högre stormfrekvens än på lovartsidan. Jämfört med en platå kunde Flemming (1966a och 1967) konstatera att turbulensen i en dal ökade när dalen låg i lä och minskade när vinden blåste längs dalen.

Vid passage av höjdpartier påverkas även vindriktningen. I brantkuperad terräng erhålles virvelbildning, som medför i stort sett omkastad vindriktning i de lägre partierna. Eriksson (1957) ansåg att detta förklarar snöfördelningen på några norska glaciärer. Intill Helagsglaciären har Rudberg (muntl.) lagt märke till att vindriktningen varit motsatt omgivningens och liknande observationer av omkastad vindriktning i området kring Basel nämner Marr (1970). I Göteborg har jag kunnat konstatera att det vid ostvind bildas en virvel i lä av den branta dalsidan vid Annedalskyrkan (Holmer 1969). Vid rökförsök har Hoyt (1966) konstaterat att distalbranten på sanddyner har tillräcklig lutning för att lävirvlar skall bildas.

Även i områden med mjukare och flackare former kan stora vindriktningsändringar uppstå. I Los Angelesområdet rekonstruerade Lamb & Neiburger (1971) strömningsmönstret för att kunna beräkna fördelningen av luftföroreningar. Ur deras material framgår att en från SV blåsande luftström över havet (5-6 m/s) över land delades i luftströmmer från V-SO kring höjderna samtidigt som vindhastigheten sjönk till ca 2 m/s. Liknande mönster men i mycket mindre skala fann Lindqvist (1973a) i ett bohuslänskt rundhällsområde.

Topografins styrande effekt kan sträcka sig långt bort från terränghindret. Eimern (1955) har observerat vindvridningar på mer än 20° på 2 km avstånd från en 60-100 m hög brant.

Ahrens (1970) jämförde vinddata från radiosonderingar och mätare i en dalgång och kunde konstatera en anpassning av markvinden till dalens riktning. Ökad frekvens av vind längs dalgången har också konstaterats i Rhendalen (Bjelanovic 1967) och i Stuttgart (Hamm 1969). Som exempel på en svensk station med hög frekvens av vindriktningar i dalens riktning (särskilt vintertid) kan nämnas Borås.

I vilken utsträckning vindriktningen ändras av en dalgångs riktning beror i hög grad på luftens stabilitet. Undersökningar av Holland (Yoshino 1975), Gifford (1953), Damman (1960), Flemming (1966b), Hinds (1970) och Ahrens (1977) visar att terrängens inflytande är störst vid stabil luftskiktning och minst vid labil skiktning. Inflytandet av terrängen blir därför större på natten än på dagen.

Vinddeformerad vegetation

Den av vinden deformerade vegetationen ger en möjlighet att studera den samlade effekten av vinden i ett område för en längre tidsperiod. Växtdeformation på grund av vind påvisades på Grönland i botaniska arbeten (Hammer 1883, Worming 1883, Hartz 1895 och Kruuse 1911). De nämner kalla vindar, ofta i förening med snödrev, som orsak och även kalla havsvindar men diskuterar även inverkan av solstrålning och jordflytning. I svenska fjällen har Sernander (1905) och Fries (1913) studerat vinddeformerade växter. Samuelsson (1926) slår fast efter resor till Island och Spetsbergen, att det är fallvindar i dalgångarnas riktning som är helt dominerande. Samuelsson skildrar även en dramatisk episod på Spetsbergsresan, då fallvindar av stormstyrka kastade sig över fartyget från än den ena än den andra dalgången. Sandström (1912,1913,1936) har betonat skillnaden i vindhastighet beroende av om vinden rör sig uppför eller nedför berget. Om fallvindarna river med sig snö, kan de uppnå mycket höga vindstyrkor.

Noggrannare karteringar av vindspår i arktisk miljö har utförts av Rudberg (1963,1969) och liknande karteringar har också gjorts i svenska fjällen (Rudberg 1968, och i seminarieuppsatser av Magnusson 1966 och Bergenkull & Löfvendahl 1969). Den rimligaste tolkningen av dessa karteringar är att deformationen ej beror på avlänkningar av förhärskande vindsystem. Den torde i stället orsakas av fallvindar som emellertid ofta går snett utför sluttningarna.

I arktiska och subarktiska trakter visar växtdeformationen på vindar utför sluttningarna. Träddeformationen i tempererade områden visar i stället på vind uppströms dalen (Runge 1959, Yoshino 1964b) utom i områden med starka fallvindar, t ex av typen bora (Yoshino 1973). Vindmätningar visar också att dalvinden genomsnittligt är starkare än bergvinden (Ekhart 1953).

Deformationen på mer högväxt vegetation i tempererade områden har studerats av åtskilliga forskare. Weischet (1951) jämför deformationsriktningar i Rhen-dalgången med resulterande vindriktningar från det meteorologiska observationsnätet. Han anser sig på grund-

val av det täta nätet av deformerade träd kunna påvisa att det endast är i ett smalt parti längs själva Rhen som vind längs dalgången kan ge avvikelser från den dominerande västvindströmningen. Tidigare hade man ansett att detta inflytande gällde hela dalgången.

På den svenska västkusten har karteringar av träddeformation redovisats i seminarieuppsatser av Lindblom (1963), Åkerström (1965) och Pettersson (1969). Deformationsmönstret tolkas som en anpassning av dominerande sydvästvindströmning till dalgångarnas riktning. I den sistnämnda uppsatsen visas också att lutningen på det av vinden snedklippta krontaket tycks kunna användas som ett relativt mått på vindstyrkan.

I Göteborgs bebyggelselandskap har Lindblom (seminarieuppsats 1964) studerat lutningsriktningarna hos träd. Den strömning i gatorna som hon kommer fram till verkar rimlig. Det finns emellertid en viss osäkerhet i resultaten bl a beroende på att träddeformationen på grund av den ringa vindhastigheten i bebyggelselandskapet ej är särskilt utpräglad och att deformationsriktningarna antagits följa gaturiktningen.

Yoshino (1963,1964b,1973) delar in träden efter deras deformationsgrad och söker på så sätt få fram den genomsnittliga vindstyrkefördelningen. Resultat från Frankrike, Jugoslavien och Japan jämförs med vindmätningar utförda med handvindmätare och överensstämmelsen synes vara relativt god.

Yoshino (1973) anser sig även kunna skilja mellan sommar- och vinterdeformation av vegetationen. Vintertid, påstår han, slipar snödrevet bort alla kvistar på vindsidan av stammen medan sommarvinden endast böjer dem åt sidan. På denna grundval undersöker han sedan sommar resp. vintermonsunens strömning över mellersta Hokkaido.

Vad som ger den kraftigaste deformationen - direkt vindtryck, mekanisk nötning av grenar mot varandra och av partiklar som transporteras med vinden eller uttorkning av knoppar beroende på effektivt luftutbyte och saltstänk - är ännu inte närmare utrett. Troligt är väl att de olika faktorernas betydelse varierar med miljötypen. Det skulle kunna innebära att platser med exakt samma vindhastighets- och vindriktningsfördelning, men belägna inom skilda miljötyper, borde kunna erhålla deformationsfördelningar som avviker från varandra. Den bristfälliga kunskapen om bildningsfaktorerna medför att tolkningen av riktningsfördelningarna måste göras med försiktighet.

En nackdel med att studera långtidseffekter är att de kanske inte anger vindpåverkan för någon viss samtidig strömningsriktning över hela området. Det torde vara lika rimligt att anta att de i stället för varje enskild punkt visar vilken allmän strömningsriktning som just där har den största deformerade effekten. D v s det går inte att sammanställa de enskilda observationspunkterna och försöka tolka fram en av topografin styrd synkron mo-

dell för områdets vindriktningsfält vid en viss strömning över området. Detta är också en av slutsatserna i Holtmeiers (1971) undersökningar av träddeformationen i alpdalgångar i Schweiz. Men även ur observationer som är icke-synkrona kan naturligtvis värdefulla upplysningar erhållas om vindförhållandena i ett område.

Bebyggelsens inverkan på vinden

Flurwind

I situationer med svag geostrofisk vind och en välutvecklad värmeö i stadens centrala delar bildas ett lokalt vindsystem med strömning in mot staden. Med tysk resp. engelsk terminologi kallas detta vindsystem Flurwind resp. country-breeze. Någon passande svensk benämning finns inte. Vindhastigheten är så låg att den ligger under startgränsen för många vindmätare. Det kan därför vara svårt att registrera denna typ av strömning.

Med vindmätare har dock strömning in mot stadskärnan kunnat konstateras i Louisville i Kentucky (Pooler 1963), New York (Davidson 1967), Toronto (Hirt & Findlay 1969), Frankfurt (Georgii 1970) och Los Angeles (Lamb & Neiburger 1971).

På grundval av uppmätningar av svaveldioxidhalter och temperaturmätningar vid mätfärder med tättliggande mätpunkter ansåg Hamm (1967) sig kunna påvisa, hur renare och kallare luft strömmade in mot centrum av Stuttgart längs större trafikleder.

I Japan har Okita (cit. av Munn 1970) observerat Flurwind kvalitativt genom att studera dimfrostavsättningar och skorstensrök. Fördelen med dessa typer av observationer är att man kan erhålla vindriktningar från många punkter och att man inte är beroende av eventuell instrumenttröghet.

Stadens värmeö anses vara bäst utvecklad nattetid. Det bör medföra att även det lokala cirkulationssystemet blir bäst utvecklat då. Detta kan vara anledningen till att Yoshino (1964a) ej kunnat påvisa någon Flurwind men däremot en sjöbriseffekt under en kampanj i Tokyo, där flaggriktningar på skolgårdar lästes av kl 10 lokal tid. Bach (1970) anser emellertid att Flurwind-effekten finns hela dygnet. Förutsättningen för detta är att det finns ett temperaturöverskott i stadskärnan även dagtid. Ett sådant konstaterades av Hirt & Findlay (1969) när de observerade Flurwind-effekten kring Toronto. Oke & Hannell (1970) har också funnit tydliga värmeöar dagtid i sina undersökningar i Kanada liksom även Ludwig (1970).

När vinden över området ökar kommer värmeön att minska i intensitet. Den kritiska hastigheten beror på ortsstorleken. Oke & Hannell (1970) har sammanställt data från olika städer och kommit fram till sambandet

$$u_{krit} = 3{,}4 \cdot \log P - 11{,}6$$

där u_{krit} är den kritiska hastigheten och där befolkningsmängden P används som mått på ortsstorleken. För 10.000 inv blir den kritiska hastigheten 2 m/s, för 100.000 inv 5-6 m/s och för 1 milj inv 9 m/s. Dessa siffror kan jämföras med att Georgii (1970) i miljonstaden Frankfurt am Main funnit att när vindhastigheten över området är högre än 3-4 m/s försvinner Flurwind-effekten och vindrörelser styrda av friktionen mot bebyggelsen tar över.

Samverkan mellan vinden över ett område och Flurwind har analyserats i matematiska modeller av Dilley & Yen (1971) och Vukovich (1971).

Högre vindhastighet över området

Luften över ett stadsområde kommer på grund av den ökade friktionen att utmärkas av en viss konvergens och därmed också av en uppåtriktad komponent. Detta observerades över London av Atkinson (1970) och över St Louis av Ackerman (1974) genom analys av lufttrycksfördelningar. En uppåtriktad komponent över stadskärnan kunde också Hass et al (1967) konstatera över New York med hjälp av tetroonballongobservationer.

Att dessa områden med konvergens observerats över stadsområden kan emellertid vara tillfälligheter, eftersom parallella band med konvergens och divergens spårats med radarobservationer i samband med snöbyar över sjöar (Peace & Sykes 1966 och Jiusto & Kaplan 1972).

Över det bebyggda området ökar vanligen vindhastigheten med höjden. Kratzer (1956) har emellertid förmodat att det vid inversionstillfällen kan erhållas ett vindmaximum på låg höjd över stadsområdet på grund av en luftkudde över bebyggelsen på samma sätt som vindhastigheten ökar nära ett krön. En sådan situation har också observerats av Deland & Binkowski (1966) över Minneapolis. Vindökningen med höjden kan approximeras med en potensfunktion. Exponenten i potensfunktionen är beroende av om man utgår från referensnivån 10 m (Shellard 1959) eller geostrofiska vindens nivå, ca 1 km (Davenport 1961). Exponenten är dessutom beroende av luftens stabilitet. Jones et al (1971), vilka följde Davenports modell, fann att för labila skiktningar var exponenten 0,21 för vindökningen med höjden över ett stadsområde, medan den för neutral och stabil skiktning visade en linjär ökning med temperaturändringen med höjden till ett exponentvärde av ca 0,5 vid inversion.

Vid neutral skiktning kan man också använda en logaritmfunktion för att beskriva vindökningen med höjden (Jensen & Franck 1963), vilket ur teoretisk synpunkt anses vara lämpligare (Munn 1966) men som är svårare ur praktisk synpunkt (Handa 1975).

Närmare marken mellan husen anser Lettau, att när vinden blåser längs en gata kan vindhastighetens höjdtilltagande beskrivas av en exponentialfunktion (Nicholson 1975).

Landsberg (1970) anger att antalet observationer med vindstilla ökar med 5-20% över ett bebyggt område och att vinden genomsnittligt reduceras med 20-30%. Samma värde på vindreduktionen anger också Taesler (1978) för mätningar i Uppsala. Betydligt högre värde på vindreduktionen fann Graham (1968) i Fort Wayne och Frederick (1961) i Nashville i Tennessee. Den sistnämnde konstaterade också att vinden starkt påverkas av många lövträd i den närmaste omgivningen.

När staden ökar i storlek, ökar också den genomsnittliga vindreduktionen, vilket Kratzer (1956) klart visat för Detroit och i viss mån även för Los Angeles. I det senare fallet var värdena svårtolkade, eftersom mäthöjden ändrats vid flera tillfällen. Den ökade vindreduktionen anser Kratzer bero på att med ökande storlek på det bebyggda området kommer mätaren att vara placerad allt djupare i den luftkudde han anser ligga över stadsområdet. En modernare tolkning är att det i stället bildas ett urbant gränsskikt som ökar i tjocklek från lovartdelen av stadsområdet. Gränsskiktet har påvisats med temperaturmätningar med helikopter över Cincinnatis stadsområde (Clark 1969).

Vindreduktionen tycks emellertid vara beroende av vindhastigheten och den byts t o m till en vindökning i bebyggelsen vid svaga vindar (Chandler 1970). För London har han funnit detta vara fallet för vindhastigheter understigande ca 5 m/s på flygplatserna i omgivningen. Orsaken till detta skulle vara att den större friktionen i bebyggelsen ger ökad virvelbildning över staden och därmed högre genomsnittlig hastighet.

Vindriktningarna i ett stadsområde kommer att variera kraftigt beroende på husens form och utsträckning (Yoshino 1964a och Georgii 1970). I bebyggelsen förändras också vindriktningarnas stabilitet genom den ökade turbulensen. Detta konstaterades av Graham (1968) som också fann att variationen kring medelriktningen var större vid låga vindhastigheter i prärieståden Fort Wayne. Även Yoshino (1964a) observerade i sin flaggundersökning i Tokyo att avvikelser var vanligare vid låga vindhastigheter.

Vinden kring små grupper av hus

Termisk cirkulation

Under situationer med svag vind kommer det att bildas termiska cirkulationsmönster även mellan byggnaderna. På dagen kommer de solbelysta fasaderna att erhålla stigande och skuggsidan sjunkande luftströmning. Nattetid avkyls hussidorna, vilket medför sjunkande luft längs dessa och stigande luft i gatans mitt (Berg, cit av Kratzer 1956).

Dynamisk cirkulation

Vindriktningsfält kan, om det gäller mindre områden med ett begränsat antal byggnader, approximeras med modellförsök i vind-

tunnel. Men den jämna vind som vindtunneln ger existerar ej i det naturliga bebyggelselandskapet (Lawson 1971, Wirén 1971, Torrance 1972). Dessutom tillkommer på grund av den mindre skalan förenklingar i landskapet och byggnaderna i modellen. Detta medför att resultaten från modellförsöket måste verifieras mot observationer kring fullskaleobjekt och i naturlig vind, innan resultaten kan få större giltighetsgrad, vilket har betonats av t ex Jensen & Franck (1963), Jones & Wilson (1968) och Owens (1971). De fullskalemätningar som gjorts har dock ofta varit av påfallande liten omfattning. Överensstämmelsen i de punkter som jämförts med modellförsöken har i de flesta fall ansetts vara relativt god (Jones & Wilson 1968 och Wise et al 1965), medan andra haft en mer kritisk inställning (Torrance 1972).

Vindhastigheterna kring enstaka byggnader har ingående undersökts av Jensen & Franck (1963). För olika anblåsningsriktningar bestämde de i vindtunnelförsök läeffekten kring skolbyggnader i ett eller två plan med varierande gruppering. Läeffekten definierad som den procentuella vindändringen orsakad av husen jämfört med hastigheten utan bebyggelse. Resultaten anges vara kontrollerade i naturlig vind. De fann läeffekten vara särskilt stor för kringbyggda gårdar. Även andra husgrupperingar med vinkelbyggda eller parallella hus kunde ge lä över avsevärda ytor kring och mellan husen, men effekten var i hög grad beroende av vindriktningen.

En noggrann och grundläggande vindtunnelundersökning av vindhastigheter och strömning kring huskroppar orienterade vinkelrätt mot vinden utfördes vid Building Research Station i England av Wise et al (1965). Strömningen undersöktes dels med en silkestråd som vindfana i ett stort antal punkter, dels med rökförsök. De närmast följande avsnitten bygger till stor del på deras arbete. Ytterligare redovisning av deras försök finns hos Lawson (1968).

Framför en byggnad bildas en virvel, som för ner vind från högre nivå mot marken och skapar ett område med omvänd vindriktning. Är huset högt erhålles dessutom hög vindhastighet framför huset. Mot ett 75 m högt husblock visade modellförsöken på en vindökning med drygt 20% ca 30 m framför huset (= 0,4 x hushöjden) medan en mätning i naturlig vind angav drygt 50% vindökning på ett avstånd 0,5 x hushöjden. Framför låga hus blir det en vindreduktion. Särskilt låg vindhastighet erhålles där den omvända luftströmmen från virveln på lovartsidan möter den anblåsande vinden, vilket sker på ungefär hushöjdens avstånd från byggnaden.

Den luft som pressas uppåt över hustaket och kring hörnen vid gavlarna får en förhöjd vindhastighet, vilken kan uppgå till flera tiotal procent. Den markanta vindökning som särskilt är koncentrerad vid lovarthörnen framträder mycket tydligt i vindtunnelmätningar i ett försök av Thuresson (1973) och Folkermann & Österberg (1974).

Mellan husen bildas virvlar av den luftström som pressas över

husen. Med tre jämnhöga hus orienterade tvärs mot vinden reduceras vinden till hälften mellan husen. Vindreduktionen blir något mindre mellan husen nerströms, vilket anses bero på den högre turbulens som det första huset ger upphov till. När ett tre gånger högre hus placeras i en fjärde rad medför detta en vindökning med 15% i mellanrummet till framförvarande låga hus. Dessutom tvingas luftströmmen över de framförliggande husen något uppåt, vilket medför en ytterligare vindreduktion på 10-15%-enheter mellan de låga husen uppströms.

Wise (1971) har närmare analyserat sambanden mellan huslängd, hushöjd och avstånd mellan husen. När husens längdutsträckning är större än hushöjden kan strömningen mot husens mitt betraktas som tvådimensionell vid 90° anblåsningsriktning mot husen. De högsta vindhastigheterna erhålles också under dessa förutsättningar. Mellan ett lågt och ett tre gånger högre hus bildas en stabil virvel så länge avståndet är mindre än det höga husets höjd. Ökas avståndet blir cirkulationen ostadigare men bildar samma genomsnittliga strömning. Högsta vindhastighet (ca 1,7 x friströmshastigheten på samma nivå) erhålles, då avståndet mellan husen är lika med höghusets höjd. Ökas höghusets höjd ökas också vindhastigheten mellan husen. Med viss osäkerhet anges att, med avståndet 2/3 av höghushöjden mellan husen, skulle den maximala vindhastigheten (2 x friströmshastigheten) erhållas när höghuset är sex gånger högre än det låga framförliggande huset. Vid lika hushöjd blir vindhastigheten mellan husen hälften av friströmshastigheten.

På gatan mellan slutna kvartersblock, i vad som kallas för en 'street canyon', har gaskoncentrationerna från utsläpp i gatuplanet, t ex av CO, undersökts i naturlig vind av Georgii (1970) och i vindtunnel av Wedding et al (1977). När vinden blåser vinkelrätt mot gatan blir det kraftigt förhöjda gaskoncentrationer på läsidan av gatan. Detta beror på virvelbildningen mellan husblocken. Nära gatuplanet erhålles omvänd vind som för över de utsläppta gaserna mot läsidan, där de dessutom förs uppåt längs hussidan. Denna strömning uppmärksammades först av Albrecht (1933). En matematisk modell för att förklara CO-koncentrationen i en 'gatukanjon' som bl a bygger på denna virvelbildning visar god överensstämmelse med uppmätta värden (Nicholson 1975).

På läsidan av ett hus bildas en 'vak' med turbulent luftrörelse riktad in mot byggnaden och med avsevärd reduktion av vindhastigheten. Lävakens utsträckning har med gasspridningsförsök studerats i vindtunnel av Halitsky (1962) och Davies & Moore (1964). I naturlig vind har motsvarande försök utförts av Drivas & Shair (1974). De fann att ända till tre hushöjders avstånd från byggnaden strömmade luften tillbaka in mot byggnaden. Vindtunnelstudierna anger något större avstånd (knappt 4 x hushöjden). Hastigheten hos den återströmmande luften reducerades med 7o-90% av friströmshastigheten.

Nedtransporten av luft bakom en byggnad kan ge upphov till avsevärda olägenheter, eftersom skorstensrök kan föras ned till marken om utsläppen inte sker på tillräckligt hög höjd ovan taket.

Sedan gammalt anses en utsläppshöjd på 2,5 x hushöjden nödvändig för att undvika detta (Snyder & Lawson 1976).

En undersökning av en mer ovanlig husgruppering utfördes som examensarbete av Johansson & Blomqvist (1973). Bebyggelsen består av två cirkelbågar, vilka bildar en nästan sluten cirkel. Vindhastigheterna, uppmätta i naturlig vind, uttrycks i procent av vindhastigheten i en referenspunkt, tyvärr utan hänsynstagande till den vindändring som ibland äger rum under mätningens gång. Resultaten jämförs med vindtunnelmätningar (Rydelius & Kullgren 1972).

Egna undersökningar

Mina egna undersökningar har i första hand varit inriktade på uppmätningar av vindhastigheter och vindriktningar inom bebyggelsen. De första mätningarna resulterade 1969 i en seminarieuppsats för tre betyg och en vidare bearbetning av grundmaterialet presenterades 1970.

Med den våldsamma stormen i september 1969 inleddes en större upplagd undersökning av vinden i Göteborg. Denna utfördes efter två linjer: dels har olika vindeffekter karterats (mestadels vindspår som skapats efter snöfall, men också drivbildning av höstlöv och vegetationsdeformation), dels har vindmätningar utförts av mätlag med upp till tolv personer utrustade med enkla vindmätare. Dessa vindmätare har naturligtvis inte den allra bästa precision, men de gjorde det möjligt att få fram vinduppgifter från ett stort antal punkter på relativt kort tid (144 mätpunkter på två timmar).

Totalt har material från 22 vindspårskarteringar utnyttjats, 15 av dessa avser snöspår. Snökarteringarna inleddes i februari 1970 och omfattar t o m 1976 så gott som samtliga gynnsamma tillfällen.

Huvuddelen av vindmätningarna genomfördes i maj 1971 och första halvåret 1972, då mätningar utfördes en gång per vecka i bestämda slingor i olika delar av Göteborg, och i juni 1972 och 1974, då intensivundersökningar genomfördes i olika bostadsområden. Totalt har mellan 40 och 50 personer deltagit i mätningsarbetet. De veckovisa mätningarna har gett värden från drygt 240 slingor och intensivundersökningarna från drygt 120 slingor.

Efter hand kom också intresset att riktas på den bild av vindklimatet som kan erhållas ur mångårig statistik både vad gäller medelförhållanden och extrema händelser.

En serie modellförsök var planerad för att närmare undersöka luftströmningen i både enkla och mer komplicerade husgrupperingar. Av olika skäl har emellertid dessa studier ej genomförts.

Målsättningen har således varit

1. beskrivning av vindklimatet i Göteborg på grundval av meteorologisk statistik

2. beskrivning av vindklimatet inom bebyggelsen, vilka vindriktningar och vindhastigheter som förekommer och vilka faktorer (t ex bebyggelsetyp, bebyggelsens höjd och topografi) som påverkar fördelningsbilden.

2. GÖTEBORGS KLIMAT

Klimatet i Sverige präglas av att landet befinner sig i mellanbreddernas västvindsystem och i gränsområdet mellan Atlanten och den eurasiska kontinenten. Göteborgs läge i ett brantkuperat landskap vid Göta älvs mynning innebär att de maritima dragen i denna klimattyp accentueras för Göteborg. Kustläget medför också att temperatur, molnighet, solskenstid, nederbörd m m genomgår markanta förändringar från havet och intåt land (Ångström 1968). Klimatet skiljer sig därför förmodligen en del mellan stadens västra och östra delar. Detta bör man hålla i minnet vid den följande redogörelsen för klimatet baserad på klimatologisk statistik. Tonvikten ligger på beskrivning av vindklimatet och hur detta påverkar övriga klimatparametrar.

Topografi

Terrängformerna i Göteborgstrakten har beskrivits av Munthe (1923), Nordenskjöld (1923) och Rudberg (1978).

Göteborgsområdet (fig 2.1) är uppbyggt av en mot väster lutande urbergsplatta, som genomkorsas av ett antal större och mindre dalar i varierande riktningar. I kustzonen är de högsta krönen ca 60 m ö h, medan de i områdets östra del når ungefär den dubbla höjden. I öster är platåkaraktären tydlig, medan plattan i väster är upplöst i ett kuperat landskap.

Berggrunden är sönderstyckad av dalstråk i huvudsakligen tre riktningar. I ONO-VSV löper Säveådalen och dess breda fortsättning, som är Göta älvs mynningsarm, vilken kilformigt vidgar sig till Älvsborgsfjorden. På ömse sidor om Säveådalen på ca 1 mils avstånd löper i norr Lärjedalen och i söder Landvetterdalen med dess fortsättning i den breda Fässbergsdalen.

Den andra dalriktningen är egentligen en grupp av riktningar med gradvisa övergångar från NNV-SSO, N-S och NNO-SSV. Den största dalen inom denna drupp är den kilometerbreda Götaälvdalgången. Några kilometer västerut på Hisingen ligger Kvillebäcksdalen. Den är ungefär lika bred som Göta älvs dalgång. Kvillebäcken står dock inte alls i proportion till dalens bredd. Än längre västerut på Hisingen finns flera mindre markerade dalar i ungefär N-S. På sydsidan om älven är Krokslättdalen med Mölndalsån störst och därnäst Högsbodalen, som mot Göta älv delar sig i två armar. Dessutom finns liksom på Hising-sidan flera mindre dalar i denna riktningsgrupp.

Den tredje dalriktningen, i NV-SO, är den stortopografiskt minst framträdande. Det mest markerade stråket löper över Hisingen från Björlanda. Många mindre tvärdalar mellan de större dalstråken hör dock till detta system.

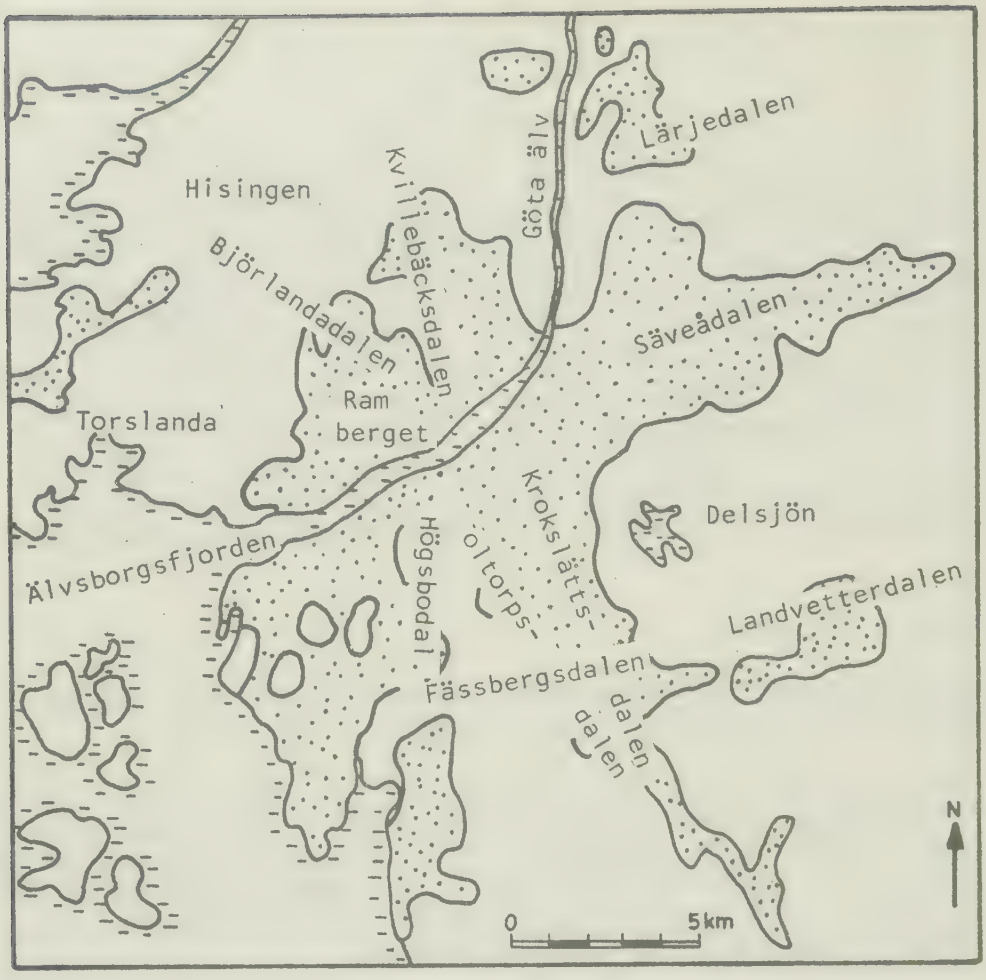


Fig 2.1 Några markerade topografiska drag i Göteborgsområdet

Some distinct valleys in the Göteborg area

Ibland bildar delar av dalgångarna mer eller mindre slutna bäcken, t ex Tolltorpsdalen och Delsjöbäcksdalen. Dalbottnarna är emellertid mestadels plana, har liten lutning. I de större dalarna är dalbotten endast några få meter över havet. Höjdskillnaden mellan dalbotten och närliggande höjdparti kan därför uppgå till 75-80 m. Höjdpartierna begränsas oftast av branta dalsidor. Ett undantag utgör den relativt flacka sluttningen söder om Göta älvs mynningsarm.

Bergen är i kustzonen nästan helt fria från jordtäcke. Inåt land ökar jordbetäckningen något. På de flesta håll finns det lösa jordtäcket i svackor och sänkor i terrängen. Höjdpartiernas topografi styrs därför på ett markerat sätt av berggrundens strukturer och spricksystem.

I skärningen mellan Björlandadalen, Kvillebäcksdalen, Göta älvdalen, Säveådalen - Göta älvmynningen, Kroklättsdalen och i viss mån Högsbodalen har det bildats en ca 3 km bred slättyta, genomkorsad av Göta älv, med enstaka restberg. Av dessa är Ramberget med sina 87 m ö h det mäktigaste, medan de övriga

oftast når 25-30 m ö h.

Den sönderskurna och brantkuperade topografin medför att för Sverige ovanligt stora höjdskillnader är ett utmärkande drag för Göteborg (Rudberg, muntl). Topografin bör medverka till att det kan skapas stora lokalklimatdifferenser. Slutna bäcken ger uppdämning av kalluftflöden (Johansson & Sundvall 1962). Djupt nerskurna dalar i varierande riktningar bör kunna orsaka avsevärda förändringar av vindens riktning och hastighet jämfört med öppet belägna platser.

B e b y g g e l s e

Beskrivningar av bebyggelsen har getts av bl a Wimarson (1923), K Samuelsson (1929), Arkitekturguide över Göteborg (1960), Göteborg - kortfattad byggnadshistoria (1972), Andersson et al (1977).

Den mer eller mindre sammanhängande bebyggelsen täcker en yta av ca 130 km^2. Stadens centrala delar ligger på slättytan söder om älven (fig 2.2) och består av låg sluten kvartersbebyggelse. Svårigheter att få stabila husgrunder medförde att Göteborg inte förrän 1803 började bygga stenhus i det dåvarande av Vallgraven och befästningar omgärdade stadsområdet vid södra älvstranden. Husen blev av samma skäl inte mer än 3-4 våningar höga. Området var genomkorsat av flera breda kanaler. Av dessa är Stora Hamnkanalen fortfarande kvar, medan kanalerna längs Östra och Västra Hamngatan fyllts igen, vilket medför att dessa gator har betydande bredd. 1807 beslutades att befästningarna utanför Vallgraven skulle raseras och ersättas med ett sammanhängande parkområde med två kilometers längd längs Nya Allén.

Bebyggelsen spreds under 1800-talets senare hälft och under 1900-talets första decennier över den fastare marken i dalgångarna och på de lägre delarna av sluttningen på södra sidan av älven. Bebyggelsen bestod till stor del av 5-6-våningshus i slutna kvartersblock. Dessutom infogades förorter (Gamlestaden, Olskroken, Gårda, Krokslätt, Annedal, Haga, Masthugget och Majorna samt på Hising-sidan Brämargården) med låga trähus och s k landshövdingehus i bebyggelsen. Landshövdingehus är en hustyp som i Sverige endast förekommer i Göteborg. Bebyggelsetypen uppstod sedan landshövdingen 1875 ändrade ett beslut av byggnadsnämnden och tillät uppförandet av trevåningshus med understa våningen i sten och de båda övre i trä. Landshövdingehus fortsatte man att bygga till långt in på 1940-talet. Utbredningen av landshövdingebebyggelsen framgår av karta 17 hos Dahl & Brånby (1970).

Under 1900-talets första årtionden bebyggdes också en del egnahemsområden på höglänta partier (Backa, Krokslätt, Älvsborg m fl) medan nedre Johanneberg och Örgryte fick mer fashionabla villor.

Sedan 1930-talet och fram till 1950-talet har kvartersbebyggelsen lösts upp och bebyggelsen har klättrat upp på höjderna och spritts söderut i dalgångarna (Björkekärr, Johanneberg, Guldheden, Lunden, Stigberget och Gråberget), men även Hisingen

Fig 2.2 Den centrala delen av Göteborgs bebyggelselandskap. Lägg märke till den centrala slättytan, de stora höjdskillnaderna samt bebyggelsens och vegetationens mosaikstruktur

The central part of Göteborgs urban landscape. Note the central plain, the great height differences

bebyggdes norr om hamnarna och varven (Kvillebäcken, Kyrkbyn och södra Biskopsgården). Bebyggelsen består mestadels av fritt grupperade 2-3-våningshus men också av betydligt högre hustyper. Villabebyggelse tillkom i Älvsborg, Änggården, Kålltorp, Lundby och Bräcke. Det sistnämnda området blev delvis mycket tätt bebyggt.

Under 1960-talet har en omfattande bebyggelse tillkommit i sydväst i Frölunda och Tynnered. Den består av fritt grupperade hyreshus i låga längor som ofta ramar in gårdar, av 10-12-vånings höghus men också av omfattande villa- och radhusbebyggelse.

På Hisingen blev under 1960-talet de högre och mer kuperade partierna i nordväst bebyggda med villor (Tolered), höghus (södra Biskopsgården) och med 4-våningshus, vilka innesluter gårdar (norra Biskopsgården) eller bildar vinklar eller parallella rader (Länsmansgården).

Under senare delen av 1960-talet och under 1970-talet har byggnadsverksamheten huvudsakligen bedrivits i Angeredsområdet (Hjällbo, Eriksbo, Hammarkullen, Gårdsten, Lövgärdet och Rannebergen). Bebyggelsen varierar från trevåningshus i rader eller gårdsbildningar till mäktiga höghusblock.

Bebyggelsefördelningen i Göteborg är således starkt påverkad av den branta topografin som medfört att höjdpartierna kommit att bebyggas senare och att de fått en öppnare och friare husgruppering. Ett utmärkande drag för Göteborg är därför att det inte finns stora sammanhängande områden med enhetlig bebyggelse, utan det är en mosaik av småbitar med olika hustyper.

Vegetation

Beroende på den mosaikartat fördelade bebyggelsen och den branta topografin finns det plats för enstaka träd snart sagt överallt inom det bebyggda området. Många gator har dessutom allétäd (Avenyn, Vasagatan, Linnégatan). Mindre områden med lövträdsvegetation finns ofta kring bergspartierna, medan själva krönen har sparsammare växtlighet. Ett kilformigt större skogsparti skjuter från söder in mot det inre av staden med Botaniska trädgården i nordspetsen.

Avståndet från havet och något rikligare jordtäcke gör att det finns någon tendens till rikligare och mer högväxt vegetation inåt land.

Klimatologiska uppgifter om Göteborg

Göteborgs klimat har tidigare behandlats av A Wallén (1923) inför stadens 300-årsjubileum. I ett antal seminarieuppsatser har temperaturdifferentieringen inom Göteborg undersökts genom mätfärder med termistorer monterade på bilar (refererade av Rudberg 1970). På uppdrag av Länsstyrelsen har även SMHI (1976) gjort en sammanställning över klimatet i Göteborgs och Bohus län.

Klimatuppgifterna har i huvudsak hämtats från två källor: Klimatdata för Sverige (Taesler 1971) och SMHI:s årsböcker. Den förstnämnda källan ger frekvenserna för samvariationen mellan olika klimatelement beräknade för en 20-årsperiod. Samvariationen kan således numera studeras utan den ytterst arbetskrävande bearbetning av primärobservationerna, vilken medfört att denna typ av analys har varit sparsamt förekommande. De drag i Göteborgsområdets klimat som presenteras i följande avsnitt är dels direkt presentation och tolkning av tabellmaterialet, dels bearbetning av det rikhaltiga siffermaterialet.

Beskrivningen av Göteborgs klimat bygger på klimatstationerna Göteborg och Torslanda samt i någon mån Vinga. Stationen Vinga är belägen på en liten ö 23 km från Göteborgs centrum och 14 km från land. Stationen Torslanda låg på västra Hisingen, 15 km från centrum. Sedan oktober 1977 är stationen nedlagd i och med att den nya flygplatsen i Landvetter tagits i bruk. Stationen Göteborg var fram till 1947 placerad vid Telegrafverket och därefter vid Sjöbefälsskolan till september 1969. Båda platserna ligger i det centrala Göteborg. En svaghet hos mätningarna vid Telegrafverket var att termometern var placerad 4,8 eller 7,3 m ovan marken och vid Sjöbefälsskolan att mätningarna utförts på krönet av ett höjdparti ovan den centrala slättytan. På hösten 1969 upphörde stationen Göteborg tillfälligt, men 1970 inrättades en station vid Härlanda i östra Göteborg. 1972 flyttades stationen tillbaka mot centrum till brandstationen vid Ullevi och i oktober 1976 upphörde mätningarna.

V i n d

I detta avsnitt behandlas de mer vanligt förekommande vindriktningarna och vindhastigheterna. Förekomsten av storm och orkan samt deras skadeeffekter tas upp i kapitel 3.

Vindriktningarnas fördelning

Vindriktningarna (fig 2.3) har en tydlig årsvariation. Under vinterhalvåret är det med undantag för vind från NV relativt jämn fördelning på olika väderstreck. Den ringa frekvensen av NV-vind kan delvis vara topografiskt betingad. Vinga, som har ett mer exponerat läge, har inte fullt så låg frekvens för vind från NV. Under november och mars är det en viss övervikt av vind från O-NO, vilket bör förklaras av att det i förhållande till landytan varma havet orsakar en "vintermonsun" över Västsverige (Wallén 1923, s 16, Sandberg 1929, s 58, Gyllstam 1945 och Davidsson 1966, s 84).

Under sommarhalvåret är fördelningen annorlunda. V-vindar har ett tydligt markerat maximum. Det börjar framträda i maj, har sin största frekvens i juli men finns fortfarande kvar i september. Den ökade frekvensen V-vindar torde till stor del vara orsakad av sjöbrisen varma sommardagar. Även andra västkuststationer har ungefär samma vindriktningsfördelning (SMHI 1976).

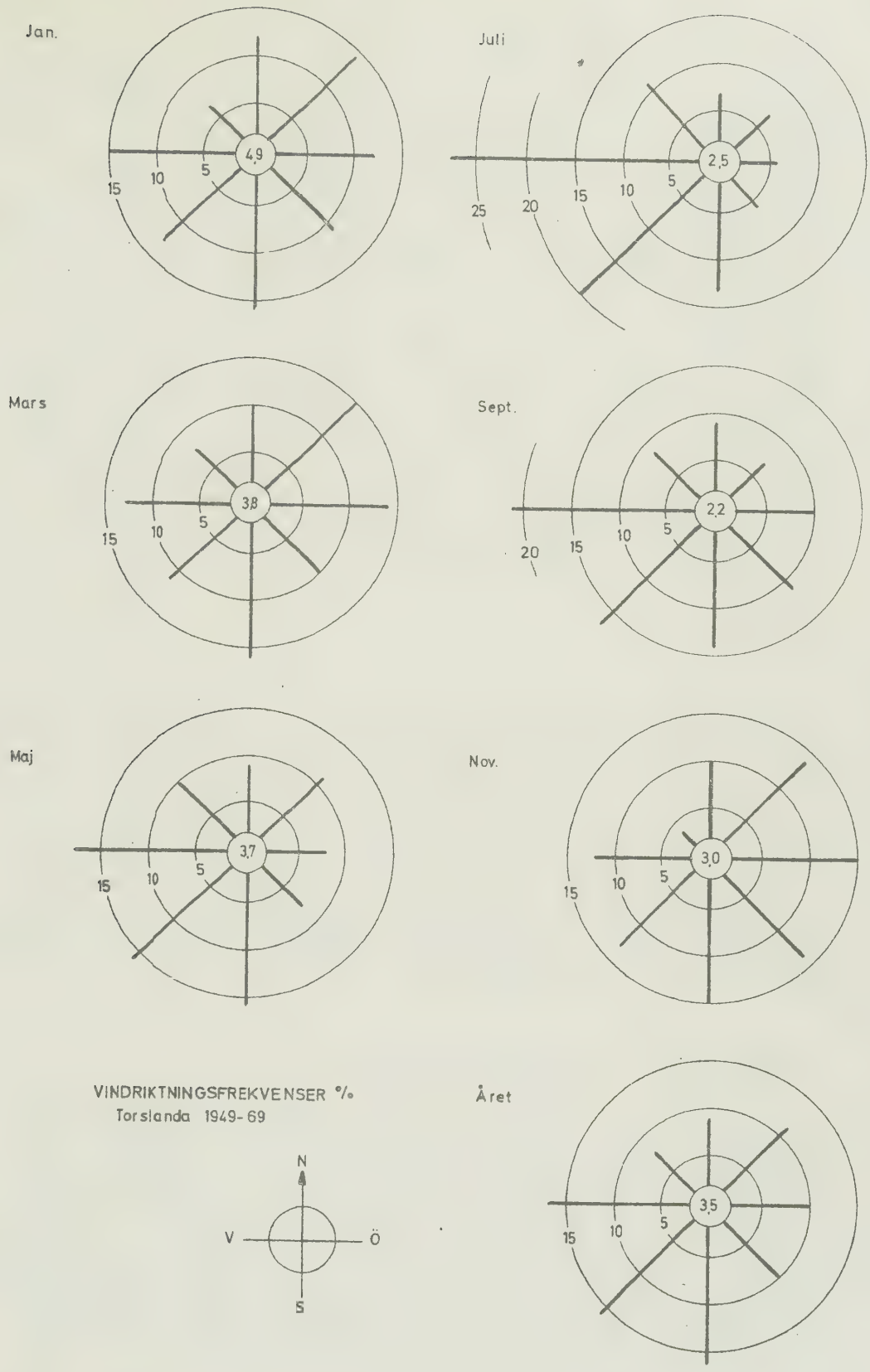


Fig 2.3 Vindriktningsfrekvenser för Torslanda. Talen i centrum av vindrosorna anger frekvensen vindstilla.

Frequency of wind directions at Torslanda airport. The numbers in the centre of the wind roses indicate the frequency of calm.

Resulterande vindriktning

Beräknas resulterande vindriktning för olika hastighetsintervall, d v s frekvenserna för olika vindriktningar adderas med hänsyn tagen till vindriktningen (fig 2.4), visar sig en markant skillnad mellan sommar- och vinterhalvåret. Sommartid är resulterande vindriktning för alla hastighetsintervall (utom de allra svagaste i juli och september) från VSV-SV. Däremot är det vintertid avsevärda vindriktningsskillnader mellan svaga och starkare vindar. För vindar upp till 6 m/s är resulterande vindriktning kring ONO, d v s rakt motsatt resulterande sommarvindriktning. För högre vindhastigheter sker en omsvängning först med 90° till SSO och sedan vid än högre vindhastigheter till SSV. Denna säregna vindfördelning torde kunna förklaras av att de svaga ONO-vindarna är knutna till högtryckssituationer med små tryckdifferenser ("vintermonsunen"). De avvikande högre vindhastigheterna är däremot antagligen förknippade med lågtryckspassager. På grund av den allmänna tryckfördelningen har dessa vintertid en riktning från ungefär SV, medan sommarens tryckfördelning gynnar en rörelse från V (Ångström 1968).

Vindhastighet

Vindhastigheten har en tydlig årlig gång (fig 2.5.a) med högre vindhastigheter vintertid än sommartid. De lägsta medelhastigheterna förekommer under senvåren. Förekomsten av svaga vindar har ingen speciell årstidsvariation. Det är i första hand frekvensen av de hårda vindarna som ger årstidsvariationen. Medelhastigheten är i maj 1,2 m/s lägre än i den blåsiga månaden november. Ser man på det värde som underskrids av 95% av observationerna under en månad, har skillnaden vuxit till det dubbla. Orsaken till årstidsvariationen är att söka i den större temperaturkontrasten i longitudinell riktning vintertid med åtföljande större tryckskillnad och därmed snabbare strömning (Liljequist 1962).

Vindhastighet i samband med nederbörd

En stor del av nederbörden utfälls i anslutning till lågtryckspassager. Detta medför att vindhastigheten i samband med nederbörd är högre än genomsnittet (fig 2.5.b). Anledningen till denna högre vindhastighet bör vara den större longitudinella tryckdifferensen vid dessa väderlägen med strömning i huvudsakligen väst-östlig riktning. I maj är hastigheten vid nederbörd ca 0,8 m/s högre än genomsnittet för samtliga observationer och i januari 1,7 m/s. Skillnaden bör förklaras av att sommarnederbörden i mindre utsträckning än vinternederbörden är förknippad med lågtrycks- och frontpassager.

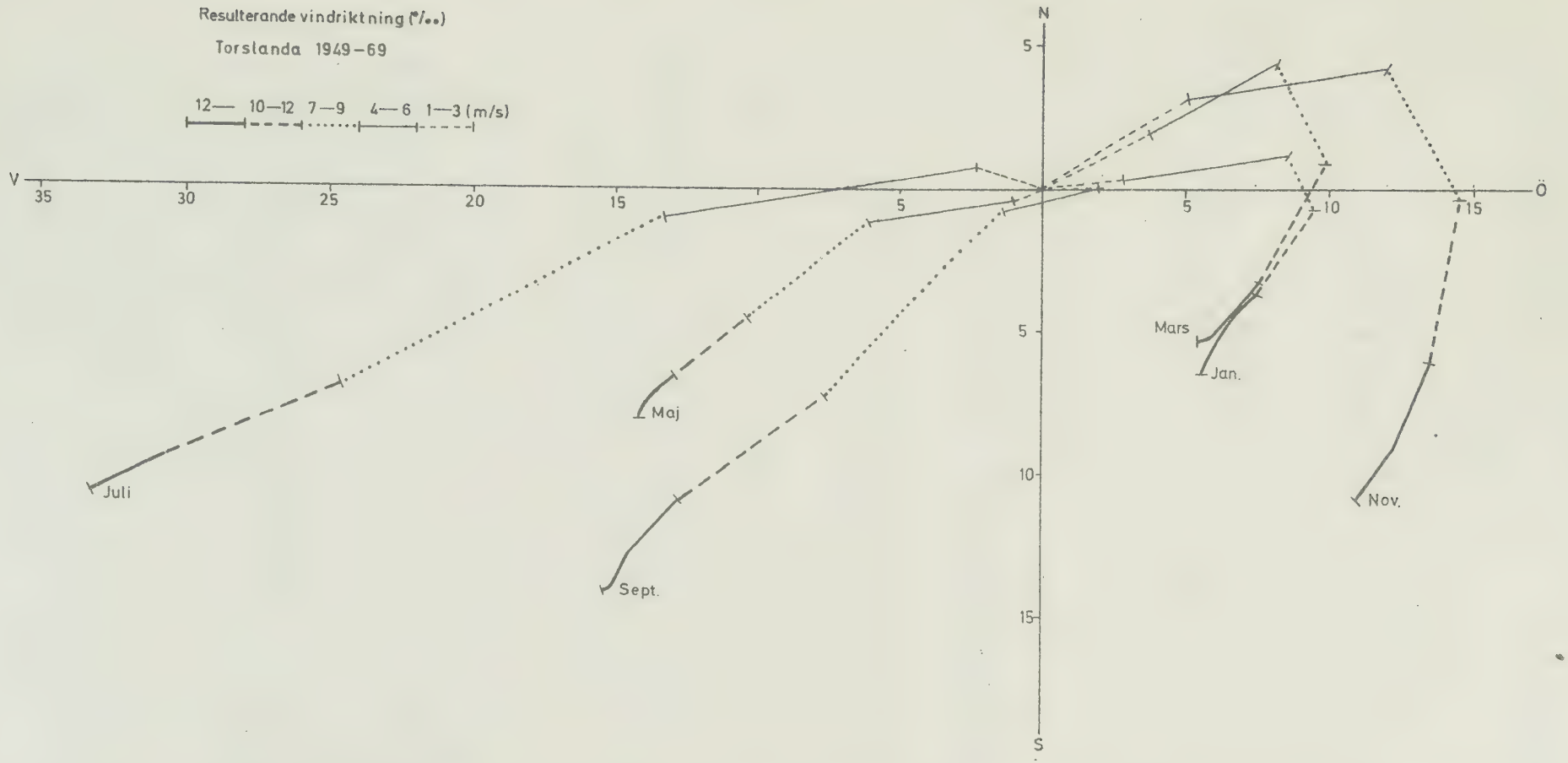


Fig 2.4 Resulterande vindriktning för olika vindhastighetsintervall vid Torslanda. Slutpunkten för resultanten i ett hastighetsintervall är startpunkt för resultanten i nästa. T ex i november är resulterande riktning för vind mellan 10 och 12 m/s från SSV. Den totala vindriktningsresultanten för en viss månad, ej utritad, är riktad från ändpunkten av delresultanterna mot origo. För t ex november är totalresultanten för vindriktningen riktad från SO.

Resulting wind directions for different wind speeds at Torslanda airport. The end point of the resultant in a certain wind speed interval is the starting point of the resultant in the next interval. For example in November the resulting wind direction is from SSW at wind speeds between 10 and 12 m/s. The all over resulting wind direction in a certain month, not drawn in the figure, is compassed from the end point of all partial resultants toward the origo. In November, for example, the all overresultant is directed from SE.

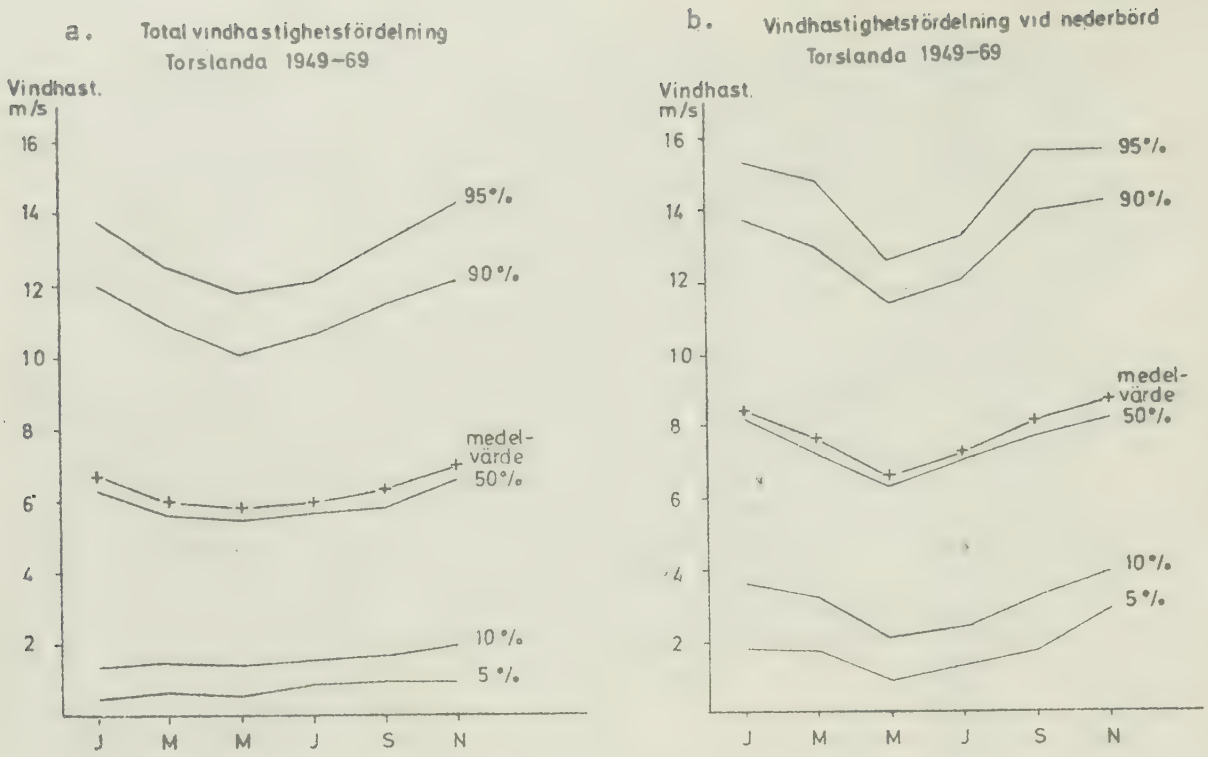


Fig 2.5 Vindhastighetsfördelning under året för Torslanda
a) totalt b) vid nederbörd

+ — + - medelvärde
% - den hastighet som underskrids av t ex 90% av observationerna

Distribution of wind speed at different months at Torslanda airport
a) all observations b) observations with precipitation

+ — + - average wind speed
% - the wind speed which is not exceeded by e.g. 90% of the observations

Samvariation mellan vindhastighet och vindriktning

Genomsnittligt är vindhastigheten högre för vindriktningarna S, SV och V än för övriga riktningar. Det gäller såväl sommar som vinter och både frekvensen av de vanligen förekommande och de högsta vindhastigheterna (fig 2.6). Förhållandet noterades redan av Wallén (1923). Förklaringen till detta torde vara en kombination av mindre friktion över havet och att högre vindhastigheter vanligen är knutna till lågtryckspassager och förekomsten av sjöbris.

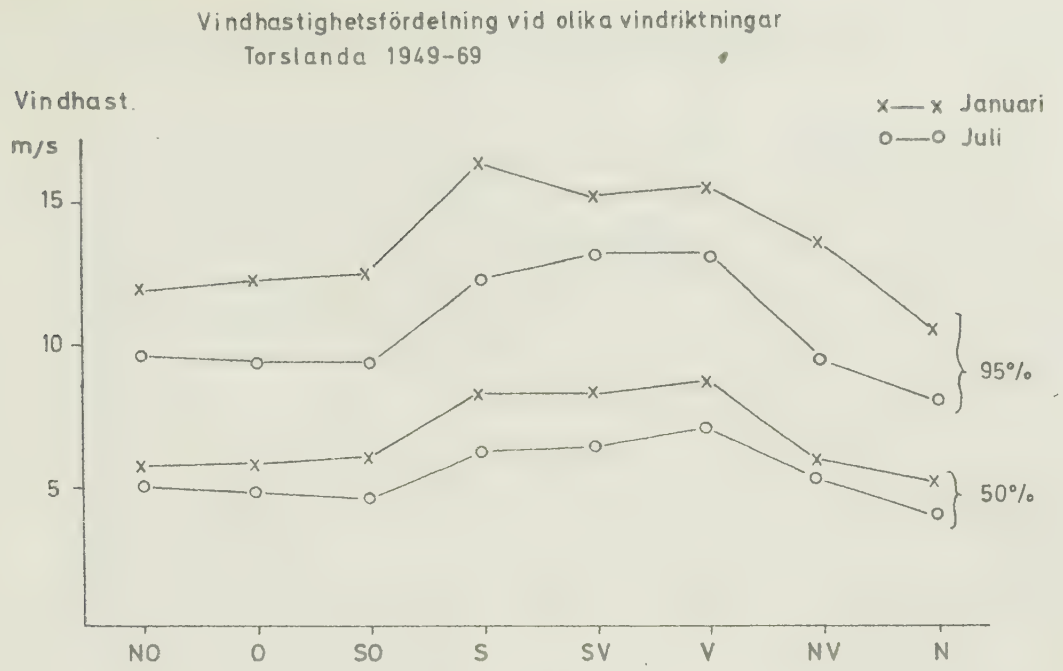


Fig 2.6 Vindhastigheter som underskrids av 50 resp 95% av observationerna vid olika vindriktningar vid Torslanda

Wind speeds which are not exceeded by 50 resp. 95% of the observations at different wind directions at Torslanda airport

Vindens dygnsvariation

Numera är inte vindstatistiken uppdelad efter observationsterminerna. Under de första decennierna av 1900-talet gjorde man emellertid denna uppdelning. Dåvarande observationsterminer var kl 8, 14 och 21, vilket ger en bättre dygnstäckning än nuvarande terminer som är kl 7, 13 och 19 (Modén 1939).

För stationen Göteborg har jag för månaderna januari och juli med uppdelning efter observationstermin beräknat vindriktningsfrekvenserna för perioden 1901-30 och vindens medelstyrka för perioden 1912-37. Vindstyrkorna angavs t o m 1920 i en sexgradig skala, vilken genom fördubbling av värdena kan göras likvärdig med den senare använda tolvgradiga Beaufortskalan (Östman 1928, s 5).

Under juli månad visar observationerna kl 14 ett kraftigt frekvensöverskott - beräknat med samma metod som Grenander (1912) använt - med 13,7%-enheter för vind från V men även vind från S, SV och NV har högre frekvens än observationerna kl 8 (fig 2.7.a). Tillsammans har dessa fyra vindriktningar 23.8 enheter fler observationer på eftermiddagen än på morgonen. Vind från SO, O och NO har däremot lägre frekvens kl 14 än kl 8 och vind från N endast obetydligt högre. De sistnämnda fyra vindriktningarna har ett underskott på 8,9%-enheter på eftermiddagen jämfört med morgonen. Antalet observationer med vindstilla har fram till eftermiddagen avtagit med 14,7%-enheter.

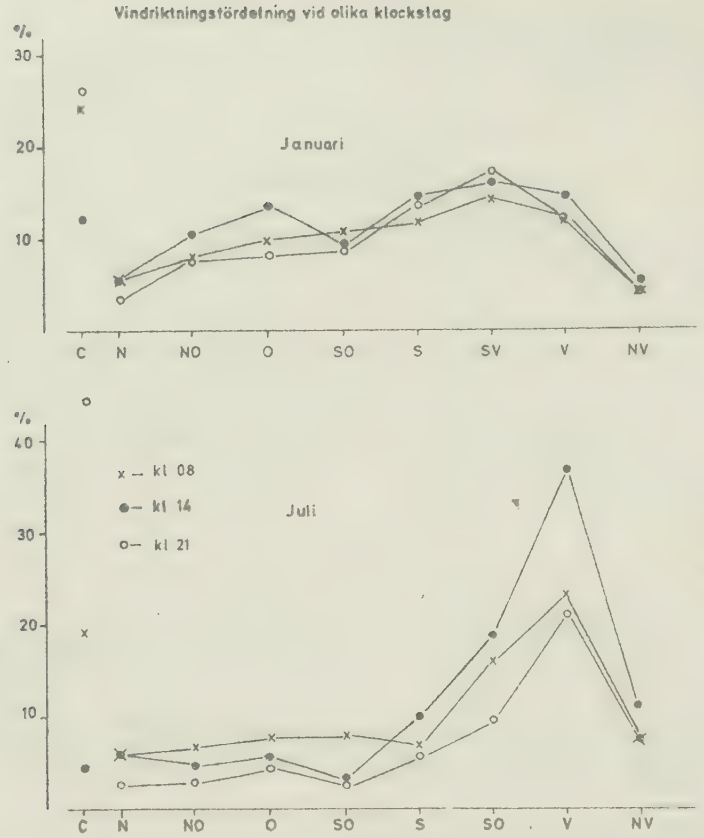


Fig 2.7 Vindriktningsfrekvenser för observationer kl 8, 14 och 21 för Göteborg i januari och juli

Frequencies of wind directions at 8, 14 and 21 hours in Göteborg in January and July

Orsaken till skillnaden i frekvens bör vara förekomsten av land- och sjöbris. Det ökade antalet observationer av vind från havet kan betraktas som ett minimimått på antalet sjöbrisdagar i juli (drygt 7 dagar). Sjöbriseffekten kan även yttra sig i att en svag allmän strömning från t ex V förstärks över kustlinjen, vilket inte ger någon ökning av frekvensen vindar från havet. Det verkliga antalet sjöbrisdagar torde därför vara betydligt högre än ovan angivna värde.

Kl 21 är frekvensen av vindstilla så hög som 44,7%, vilket försvårar jämförelsen med vindriktningsfördelningen för de båda andra observationsverminerna. Utesluts observationerna med vindstilla ur beräkningarna, kommer frekvensfördelningen kl 14 och 21 att nära följa varandra, medan frekvenserna kl 8 fortfarande visar en jämnare väderstrecksfördelning. Detta bör innebära att sjöbrisen ofta fortsätter fram till kl 21, men att den då är försvagad eller håller på att övergå i landbris, vilket det stora antalet observationer med vindstilla tyder på.

Vindstyrkan ökar under förmiddagen från 2,3 Beaufort kl 8 till 3,2 Beaufort kl 14 och avtar sedan till 1,8 Beaufort kl 21, vilket stämmer väl överens med ovanstående resonemang. Vindökningen under dagen är dock inte enbart beroende av sjöbriseffekten. Även inlandsstationer har högst vindhastighet under den tidiga eftermiddagen (Sundborg 1951, s 35). Detta beror på att den marknära luftens uppvärmning dagtid ger labilare

skiktning, vilket bidrar till vertikalrörelser som utjämnar vindhastigheten mellan olika höjdnivåer (Jones et al 1971 m fl).

I januari är differenserna mindre. Frekvensfördelningen för observationerna kl 21 avviker något från de båda andra observationsterminerna med ett uttalat maximum för vind från SV och lägre frekvens från särskilt vind från O (fig 2.7.b). Vad som orsakar denna skillnad är oklart. Alla vindriktningar utom SO har högre frekvens på eftermiddagen än på morgonen, medan frekvensen vindstilla avtar till hälften. Detta tyder på att vindhastigheten är högre på dagen, vilket också är fallet. Vindstyrkan kl 8 är 2,6 Beaufort, kl 14 3,2 Beaufort och kl 21 2,7 Beaufort.

Vindriktningarna S, Sv, V och NV har 3%-enheter högre frekvens än de övriga fyra riktningarna. Det skulle kunna tyda på en viss sjöbriseffekt även på vintern eller på att den minskade stabiliteten i luften, orsakad av dagsuppvärmningen, ger mindre vindriktningsvariation med höjden för en bestämd strömningsriktning på högre höjd hela dagen.

Helt nyligen har isopletdiagram för perioden 1955-75 över vindhastighetens dygnsvariation under årets månader presenterats för ett antal stationer i Sverige (B Eriksson 1977). Vid Torslanda är dygnsvariationen minst i december-februari med ca 0,5 m/s högre vindhastighet dagtid. Störst vindvariation förekommer i maj då vinder ökar från drygt 4 m/s strax efter midnatt till mer än 6,5 m/s kl 14. Nattetid är vindhastigheten högst i december (6 m/s) och lägst i juni (4 m/s). Dagtid är vindhastigheten lägst i februari (5,5-6 m/s) och högst i maj och oktober (mer än 6,5 m/s), medan högsommardagarna har ca 0,5 m/s lägre vindhastighet.

Vindens dygnsvariation tycks i stort sett följa temperaturens dygnsvariation (fig 2.13.a), som är minst i december-februari och störst i maj. Vad som orsakar de höga vindhastigheterna på dagen i oktober är oklart. B Eriksson (1977) kunde emellertid konstatera att det var ett allmänt förekommande drag för de undersökta stationerna.

N e d e r b ö r d

Nederbördsmängd

Medelnederbörden i Göteborg (fig 2.8) är störst på sensommaren. Den avtar gradvis under hösten och vintern till vårmånaderna, som är de regnfattigaste. Variationerna kring dessa medelvärden är avsevärda. Både max- och minvärden under 1900-talet visar dock ungefär samma årstidsvariation som medelvärdena. Största månadsnederbörd hittills är 236 mm i augusti 1912. I den tidsperiod som redovisas i fig 2.8 blev endast maj 1947 helt utan nederbörd. I april 1976 blev det ånyo en hel månad utan nederbörd. Totalmängderna per år har varierat mellan 421 mm 1922 och 1156 mm 1912. Medelvärdet för 1931-60 är 670 mm.

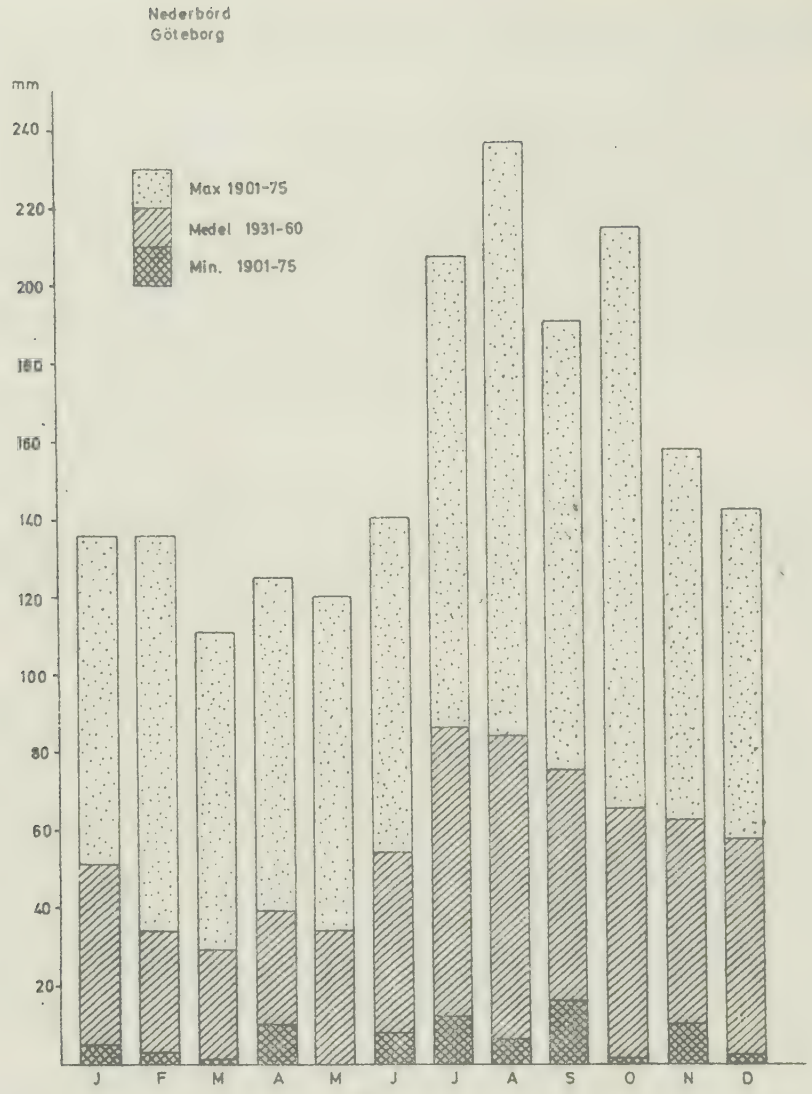


Fig 2.8 Medeltal och extremer av månadsnederbörden i Göteborg
Means and extremes of monthly precipitation in Göteborg

Nederbördstid

Antalet nederbördsdagar (fig 2.9.a) är minst på våren och störst under årets två sista månader. De flesta nederbördsdygnen har nederbördsmängder mindre än 5 mm. Det gäller inte minst de regndygnsrika månaderna november, december och januari. Ser man till antalet dygn med stora nederbördsmängder följer de samma fördelning som medelnederbörd per månad med minsta mängderna på våren och de största på sensommaren. Antalet nederbördsdygn torde i stort sett avspegla lågtrycksfrekvensen. Det större antalet dygn med hög nederbörd sommartid är sannolikt delvis betingat av de större möjligheterna till konvektion denna årstid. Den största observerade nederbördsmängd som under 1900-talet fallit på 24 timmar är 74 mm den 5 augusti 1910.

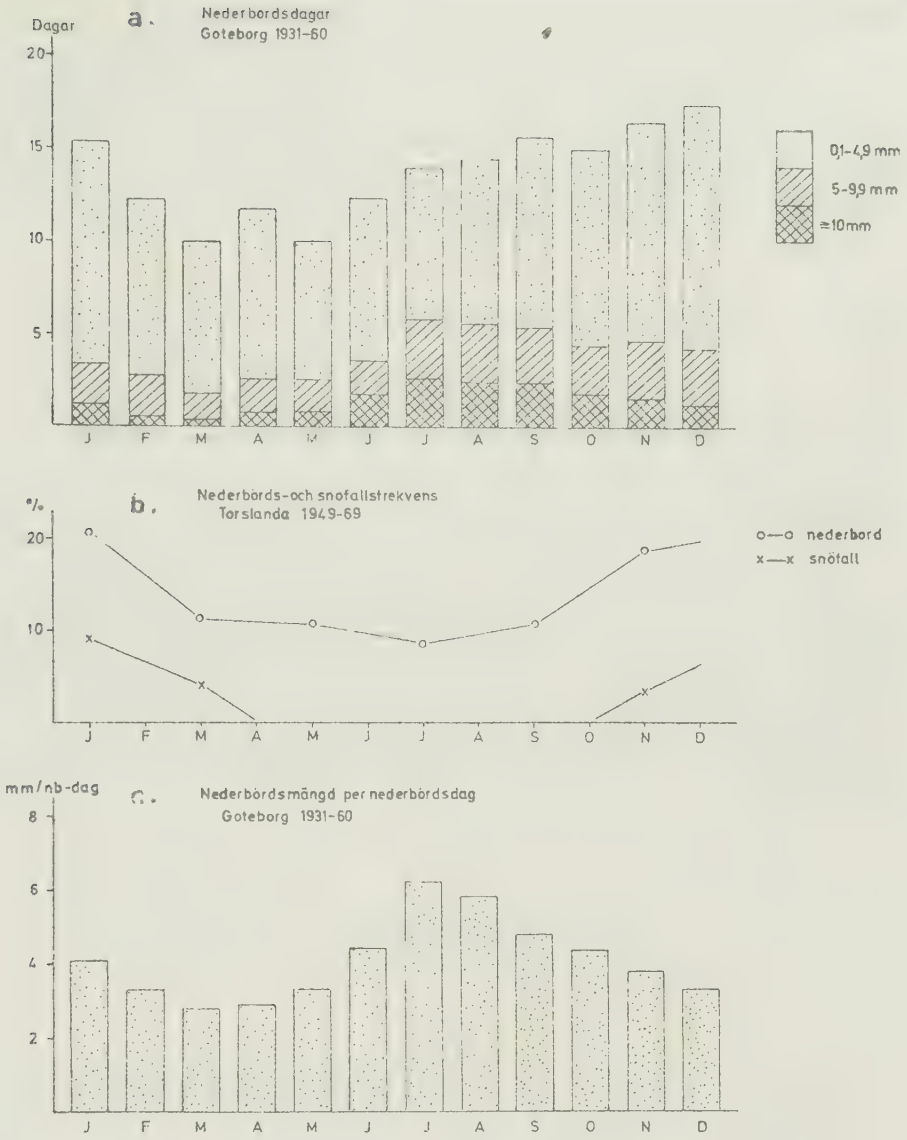


Fig 2.9 Nederbörd och nederbördsintensitet
a) antal dagar med nederbörd
b) frekvensen av nederbörd (regn och snö) och snöfall vid de tre dagliga observationerna
c) nederbördsmängd per nederbördsdag

Time and intensity of precipitation
a) number of days with precipitation
b) frequency of precipitation (rain and snow) and snow fall at the three daily observations
c) amount of precipitation per precipitation day

Antalet dygn med nederbörd lämnar inte en helt rättvisande bild av den egentliga nederbördstiden. Nederbörden är under vinterhalvåret mestadels av dagsregntyp i samband med frontpassager. Sommarnederbörden härrör till stor del från kortvariga men intensiva skurar. De synoptiska observationerna från Torslanda visar att nederbördsfrekvensen (fig 2.9.b), och därmed i huvudsak även nederbördstiden, är minst i juli och störst i januari.

Nederbördsmängd per nederbördsdag

Trots den mindre nederbördstiden sommartid är nederbördsmängderna per nederbördsdag högst i juli. Luften kan sommartid hålla större fuktighetsmängder, eftersom den är varm. Detta medför större chans till utfällning av stora nederbördsmängder. Uppvärmningen av marken sommartid gör också att en effektiv konvektiv utfällning av nederbörden gynnas.

Samvariation mellan nederbördsfrekvens och vindriktning (fig 2.10)

Skillnaderna är tydligast i januari. Fördelningen i juli är likartad om än något utjämnad. Vind från NO, O, SO, S och SV har nederbördsfrekvenser över genomsnittet. I särklass högst nederbördsfrekvens har vindar från S. En tredjedel av alla S-vindar är i januari nederbördsförande. Regnfattiga vindriktningar är framför allt NV och N. I juli tycks V-vindar ha hög nederbördsfrekvens. I förhållande till den stora förekomsten av V-vind denna månad har emellertid vindriktningen låg nederbördsfrekvens. De låga nederbördsfrekvenserna från NV-kvadranten torde höra samman med att de luftmassor som förs in från dessa riktningar vanligen är kalla och labilt skiktade. Detta medför relativt små nederbördsmängder av skurtyp, vilket bör kunna ge de låga nederbördsfrekvenserna vid dessa vindriktningar.

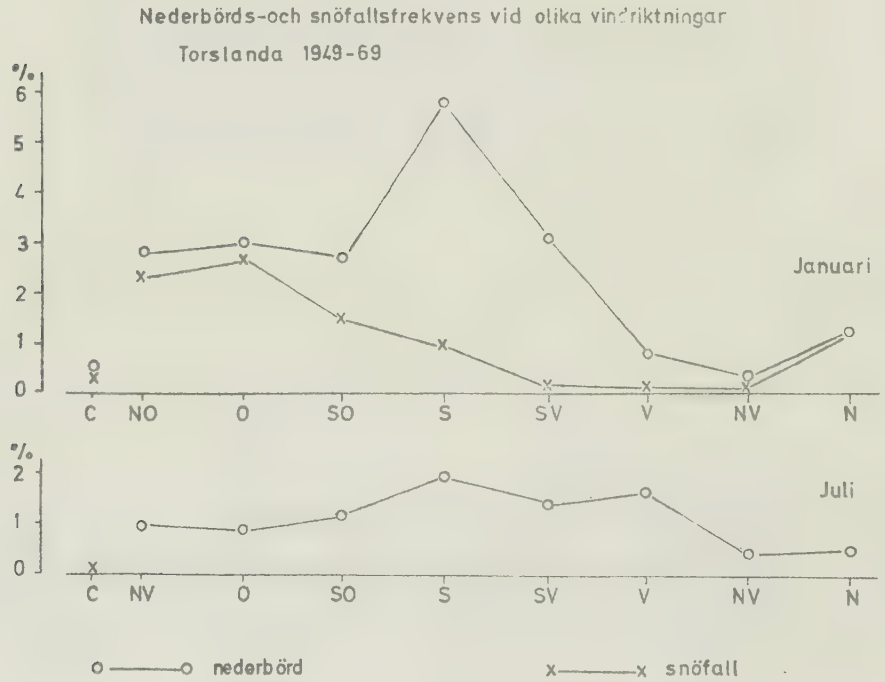


Fig 2.10 Nederbörds- och snöfallsfrekvens vid olika vindriktningar i januari och juli

Frequencies of precipitation (rain and snow) and snow fall at different wind directions in January and July

Inom Göteborgsområdet förväntas nederbörden vara minst i yttersta kustzonen. I övergången mellan land-hav bör det ske en stark ökning av nederbörden på grund av den orografiska effekten och den ökade friktionen. Öster om linjen Göta älv-Mölndalsån bör det bli en ytterligare ökning av nederbördsmängderna. En sådan trappstegsökning i nederbörden från kusten och inåt observerades i en seminarieuppsats av Oskarsson (1961) med ett relativt tätt nät av nederbördsmätare på Tjörn och landet innanför.

S n ö

Snöfall

Snöfallsfrekvensen är högst i januari med ca 10% av observationerna (fig 2.9.b). Fördelningen på vindriktningar avviker från sen som gäller för den totala nederbörden. Snöförande vindar kommer oftast från NO och O, medan vindar från SV, V, och NV har obetydlig snöfallsfrekvens (fig 2.10). Förklaringen till detta kan för det första vara att, som tidigare nämnt, NV-vindarna är torra och har låg nederbördsfrekvens och således även låg snöfallsfrekvens. För det andra för S- och SV-vindarna vanligen in varma luftmassor. Nederbörden når vid dessa tillfällen marken som regndroppar i stället för som snöflingor. Dessa nederbördstillfällen är vanligen orsakade av lågtryckspassager. När varmfronten till det annalkande lågtrycket närmar sig SV, kan det ibland förekomma snöfall. Vinden vid marken kommer emellertid då vanligen från SO. När vinden vrider över mot S och SV vid frontpassagen gör sig luften i varmluftsektorn gällande, vilket medför att snön smälter innan den når marken.

Snödjup

Medelsnödjupet i Göteborg är endast 2-3 cm (fig 2.11.a). Genomsnittligt förekommer snötäcke hälften av dagarna i den snörikaste månaden som är januari (fig 2.11.b). Stora snödjup förekommer mera sällan. I medeltal överstiger snödjupet 10 cm endast 2 dagar per månad under vintern (fig 2.11.b). Största snödjup under vintern brukar uppmätas i januari till genomsnittligt 11 cm (fig 2.11.c).

I ett område som ligger så marginellt som Göteborg vad gäller sammanhängande snötäcke blir emellertid variationerna mellan olika år högst avsevärda. Vissa år blir helt utan snö, medan andra har ett förhållandevis tjockt och varaktigt snötäcke.

Även inom Göteborg kan det vara avsevärda skillnader i snöns fördelning. Närmast kusten finns ett område av någon kilometers bredd med ett extremt maritimt inflytande genom advektion av havsluft. Innanför denna zon blir havseffekten mindre markerad. Detta framgår tydligt i ett seminariearbete av Johansson och Sundvall (1962) avseende temperaturfördelningen i Göteborg. I den extrema kustzonen kan snön vara helt bortsmält, medan det finns ett tunt snötäcke i centralare delarna av Göteborg. Öster

om Göta älvs och Mölndalsåns dalgångar brukar snötillgången vara pålitligare. Detta beror kanske främst på att terrängens medelhöjd är högre där men även på det ökade avståndet från havet.

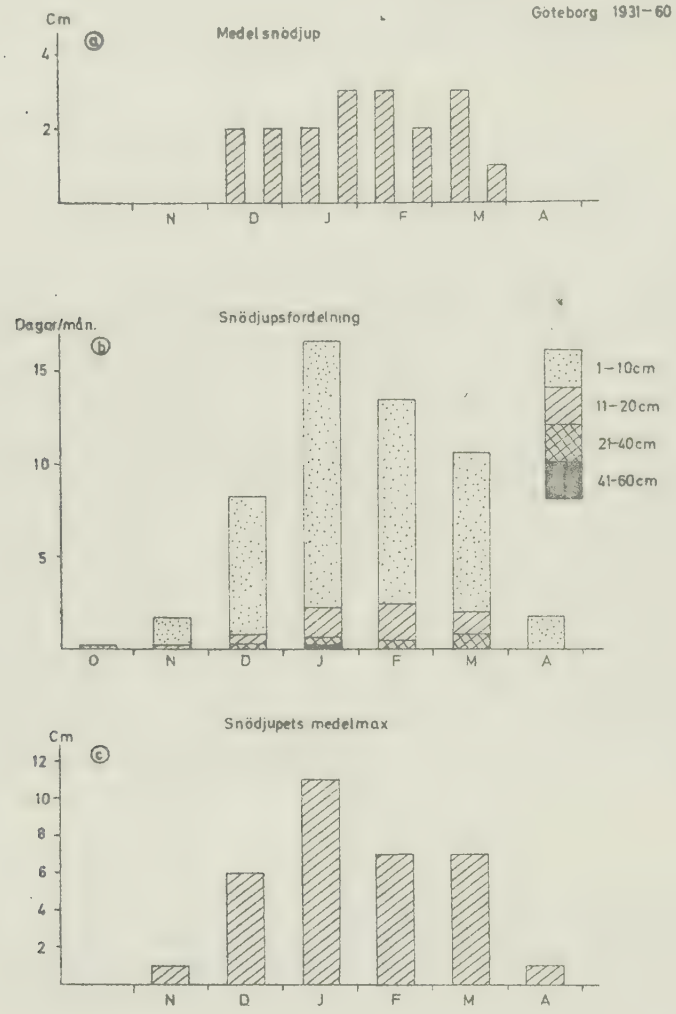


Fig 2.11 Snödjup i Göteborg a) medelsnödjup b) snödjupsfördelning c) snödjupets medelmax

Snow depths in Göteborg a) average snow depth b) distribution of snow depths c) average maximum of snow depth

Temperatur

Medeltemperatur

Månadsmedeltemperaturen för perioden 1931-60 varierar i Göteborg mellan -1,2°C för februari, som är kallaste månad, och +17,0°C för juli, som är varmast (fig 2.12). Göteborg ingår i ett av

de områden som Ångström (1938, s 20) benämner lokalmaritima. Detta utmärks av en årlig temperaturvariation mindre än genomsnittet för breddgraden i Sverige. Vintrarna är milda. Däremot är inte somrarna svalare. Lågt höjdläge och ett stort antal solskenstimmar (Lindholm 1955, s 39) är betydelsefullare än havsinflytandet på medeltemperaturerna sommartid, ty temperaturerna ökar mot kusten i Västkustområdet. I förskjutningen av kallaste del av året till februari och varmaste till senare delen av juli märks dock det maritima inflytandet på medeltemperaturen.

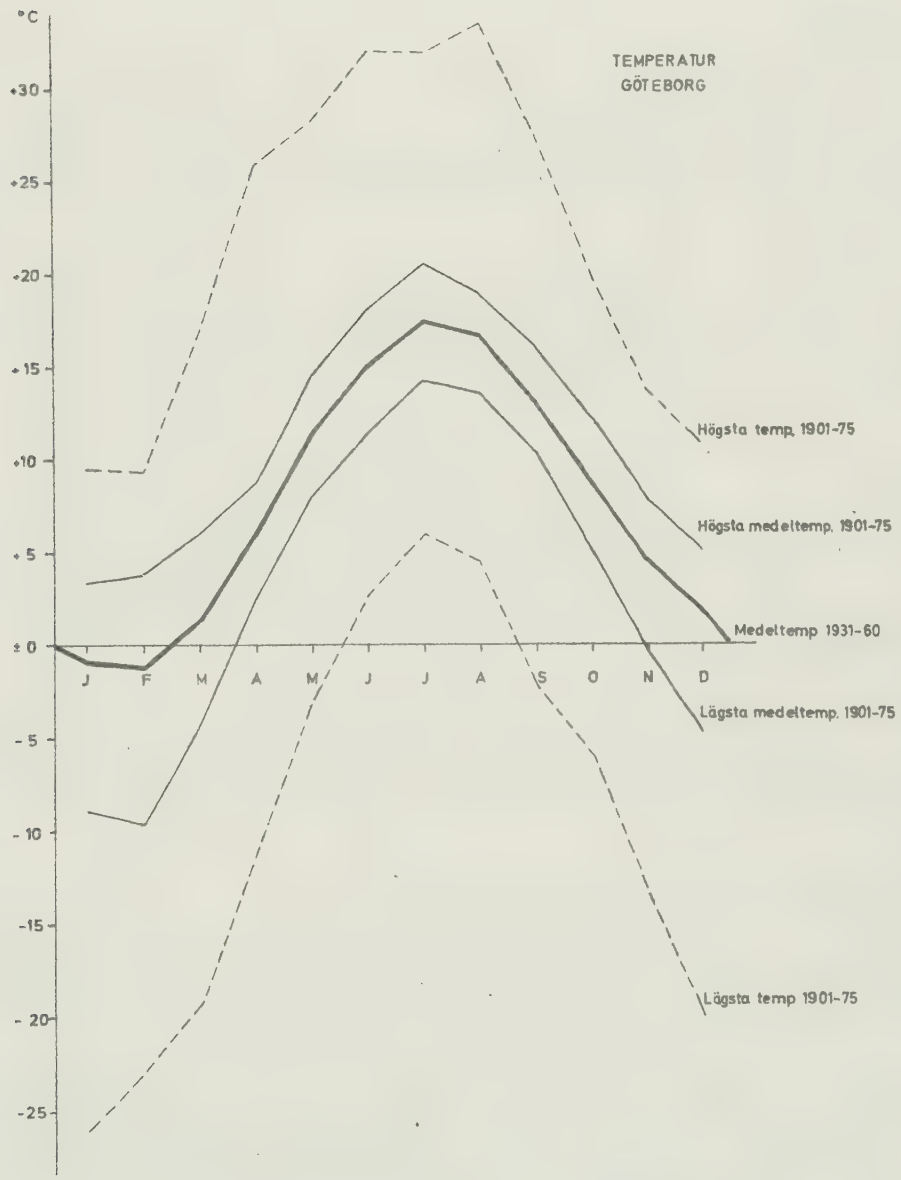


Fig 2.12 Medelvärde och extremer av lufttemperaturen i Göteborg
Means and extremes of air temperature i Göteborg

Månadernas medeltemperatur varierar åtskilligt mellan olika år (fig 2.12). Varmaste sommar hittills under 1900-talet har varit 1901 med 20,8°C i juli och kallaste 1928 med 15,0°C i augusti. Som jämförelse kan nämnas att den varma och torra sommaren 1976 hade augusti en temperatur av 19,5°C och den kalla och blåsiga sommaren 1974 hade juli en medeltemperatur på 15,4°C.

Kallaste vinter under 1900-talet har varit 1942 med -8,9°C i januari. Den varmaste vintern inföll 1974-75, då februari med +1,5°C hade lägst temperatur. Vintern 1969-70 som varit den kallaste i Göteborg under 70-talet hade februari en medeltemperatur på -6,9°C.

Extremtemperaturer

Högsta observerade temperatur 1901-75 (fig 2.12) har varit +33,5°C, vilket inträffade den 7 augusti 1975. En förhållandevis lika extrem temperatur uppmättes den 5 maj 1977 i Säve strax norr om Göteborg med 29,8°C. Att de extremaste sommardagarna inte varit varmare torde förklaras av att sjöbrisen för in svalare luft från havet.

Lägsta observerade temperatur 1901-75 har varit -26°C den 25 januari 1942. Kallast under 1970-talet var det den 17 februari 1970 med -21,6°C, vilket är det näst lägsta värde som observerats i Göteborg under 1900-talet.

Dygnsvariation

Sitt genomsnittligt största värde har dygnsvariationen (fig 2.13.a) i maj med dryga 8°C mot mindre än hälften i november, som har minst dygnsvariation. Molnmängden är betydelsefull för detta förhållande. Molnen dämpar dygnsvariationen genom att skärma av den direkta solstrålningen på dagen och genom att returnera den långvågiga utgående värmestrålningen på natten. Antalet klara dygn är störst i maj och minst i november. Antalet mulna dygn visar ungefär samma fördelning (fig 2.13.b). Det är således god överensstämmelse mellan molnmängden och den genomsnittliga dygnsvariationen.

Inom Göteborgsområdet påverkas dygnsvariationen av två varandra motverkande faktorer. Molnmängden ökar snabbt inåt land (Lindholm 1955, s 23), vilket gynnar stor dygnsvariation vid kusten. Denna effekt motverkas dock av havsvattnets temperaturutjämnande verkan och sjöbrisen.

Den uppmätta dygnsvariationen är mindre än för andra platser längs Västkusten. De nattliga minimitemperaturerna bör vara påverkade av värmeöeffekten som på grund av stadens storlek blir större än för mindre orter (Sundborg 1951, s 28). Termometerns stora höjd över marken under första delen och mätplatsens läge på ett krön under senare delen av observationsserien bör också bidra till att minska den uppmätta dygnsvariationen.

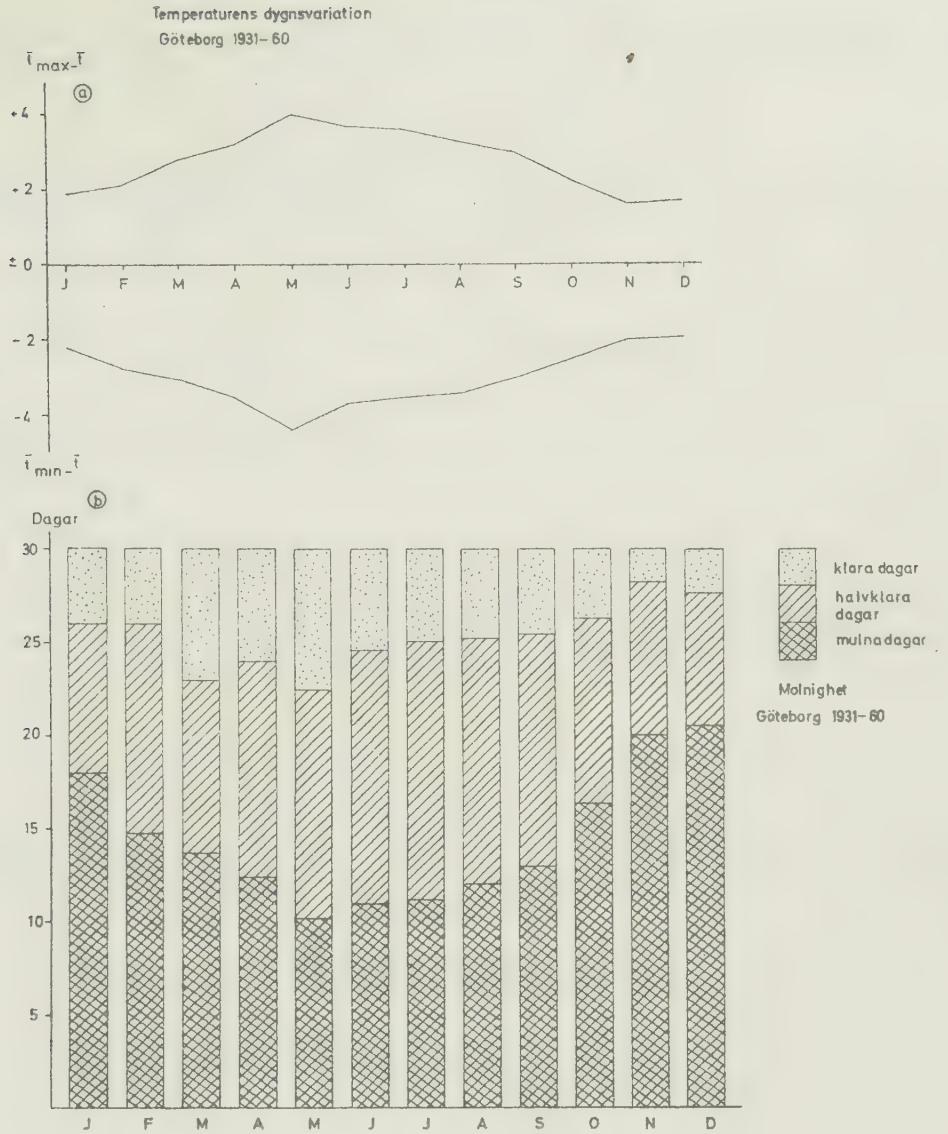


Fig 2.13 Lufttemperaturens dygnsvariation (a) och dess samband med molnigheten (b) i Göteborg

The diurnal variation of air temperature (a) and cloudiness in Göteborg

Samvariation mellan temperatur och molnighet

I januari ökar molnigheten med temperaturen med undantag för de allra högsta temperaturerna (fig 2.14.a). Eftersom solen är uppe så kort del av dygnet i januari, blir det i första hand utstrålningen som gynnas av liten molnmängd, vilket leder till sänkt temperatur. Vill man utnyttja solenergin för bostadsuppvärmning, är således solchansen störst när det är som kallast.

Tendensen till uppvärmning av luften och högre temperatur med glesnande molntäcke förstärks mot sommaren. Juli har i stort sett högre temperatur ju mindre molnmängden är. I detta fall

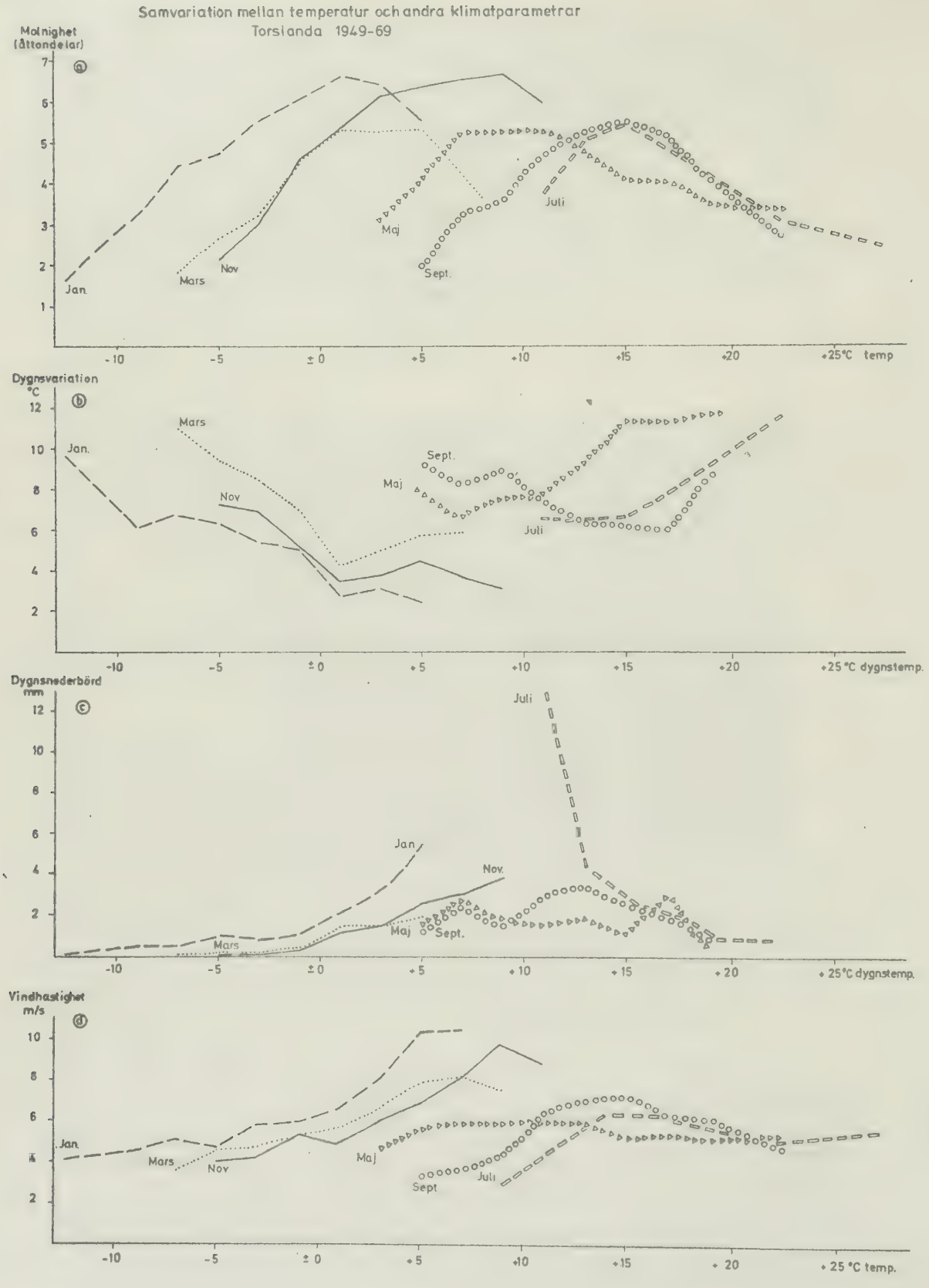


Fig 2.14 Samvariationen mellan lufttemperatur och molnighet, dygnsvariation, dygnsnederbörd resp vindhastighet vid Torslanda

The co-variation of air temperature and cloudiness, diurnal temperature range, precipitation resp. wind speed at Torslanda airport

överstiger tydligen möjligheten till soluppvärmning den nattliga utstrålningen i betydelse. De lägsta temperaturerna erhålles dock i utstrålningsituationer med mindre molnmängd.

Mellan de båda ytterligheterna i januari och juli har övriga månader gradvisa övergångar där möjligheterna till uppvärmning klara dagar är ungefär lika stora som möjligheterna till avkylning genom utstrålning.

Samvariation mellan medeltemperatur och dygnsvariation

Dygnsvariationens förhållande till dygnets medeltemperatur belyser ytterligare ovanstående resonemang (fig 2.14.b). Vid de temperaturer där molnmängden genomsnittligt är mindre, blir dygnsvariationen större. Vintertid är dygnsvariationen 10-11°C vid de låga temperaturerna och 2-4°C vid temperaturer över 0°C. I sistnämnda fall bör energiåtgången för snösmältning resp energifrigörandet vid återfrysning bidra till en ytterligare dämpning av temperatursvängningen. I mars har kurvan ett markant minimum i detta temperaturintervall, vilket till stor del bör tillskrivas dagsmejan.

Sommarhalvåret har inte så stora avvikelser i dygnsvariationen. Minsta genomsnittliga dygnsvariation finns vid de låga dygnstemperaturerna. Vid de högsta temperaturerna är den genomsnittliga dygnsvariationen 11-12°C, vilket är samma storleksordning som för de låga dygnstemperaturerna vintertid.

Samvariation mellan temperatur och nederbörd

Vintertid medför högre temperaturer starkt ökade nederbördsmängder (fig 2.14.c), beroende på att luften då kan föra med sig betydligt större fuktighetsmängder än vid låg temperatur. Samma temperaturberoende hos nederbörden har tidigare konstaterats av Stenborg (1965, s 177).

I juli är sambandet det omvända. Ju högre temperatur, desto mindre blir den genomsnittliga nederbördsmängden. Däremot kan den förväntas bli intensivare vid de högre temperaturerna, eftersom den i högre omfattning kommer att utfällas i konvektiv form, t ex i samband med värmeåskväder. De högre nederbördsmängderna vid lägre julitemperaturer kommer sannolikt till största delen från frontpassager, när lågtryck för in svalare och fuktigare luftmassor. Dessutom medför ju även nederbörden en sänkning av lufttemperaturen. En kortvarig skur får därför inte speciellt stor temperatursänkande effekt, medan större regnmängder kan ge större sänkning, eftersom huvuddelen av värmen kommer att gå åt till att avdunsta vatten. Detta förstärker sambandet mellan temperatur och nederbördsmängd i juli.

Vår och höst är sambandet svagt. Det tycks dock finnas en tendens till att såväl de kallaste som varmaste delarna av dessa månader får något mindre nederbörd.

Samvariation mellan temperatur och vindhastighet

Under vinterhalvåret är vindhastigheten lägst (ca 4 m/s) vid de låga temperaturerna (fig 2.14.d), vilket bidrar till sänkt avkylningseffekt vid dessa tillfällen på både människor och byggnader (jfr med Siples avkylningsindex, Wilson 1963). Vid de högsta temperaturerna har vindhastigheten genomsnittligt ökat till det dubbla. Vinterfördelningen torde, som tidigare nämnts, vara orsakad av att svaga vindar ofta är förknippade med högtryckssituationer och kalla luftmassor, vilket ger låga temperaturer. De högre vindhastigheterna och varmare luftmassor är mer knutna till lågtryckspassager.

Sommarhalvåret är variationen i vindhastighet mindre liksom även temperaturvariationen. De lägsta vindhastigheterna hör samman med de lägsta temperaturerna. Luftrörelsen bör då dämpas av den genom utstrålning bildade inversionen. Vindhastigheten har maximum för de måttliga temperaturerna för att sedan avta, när temperaturen ökar. Förklaringen bör vara att då vindhastigheten råkar vara något lägre, finns ökad möjlighet till uppvärmning av det marknära skiktet. Vid de allra högsta temperaturerna tycks vindhastigheten öka något. Detta kan bero på att dessa temperaturer uppnås i samband med varmluftsadvektion från SO eller O och att den vindökning som konvektionen kan ge upphov till inte får någon temperatursänkande effekt.

Vindhastighetsfrekvensen vid olika temperaturer

Delfigurerna i fig 2.14 visar medelvärdet av olika variabler i bestämda temperaturintervall. Det förekommer emellertid stora avvikelser från dessa medelvärden. Detta kan illustreras av fig 2.15 som visar fördelningen av vindhastigheter vid olika tempe-

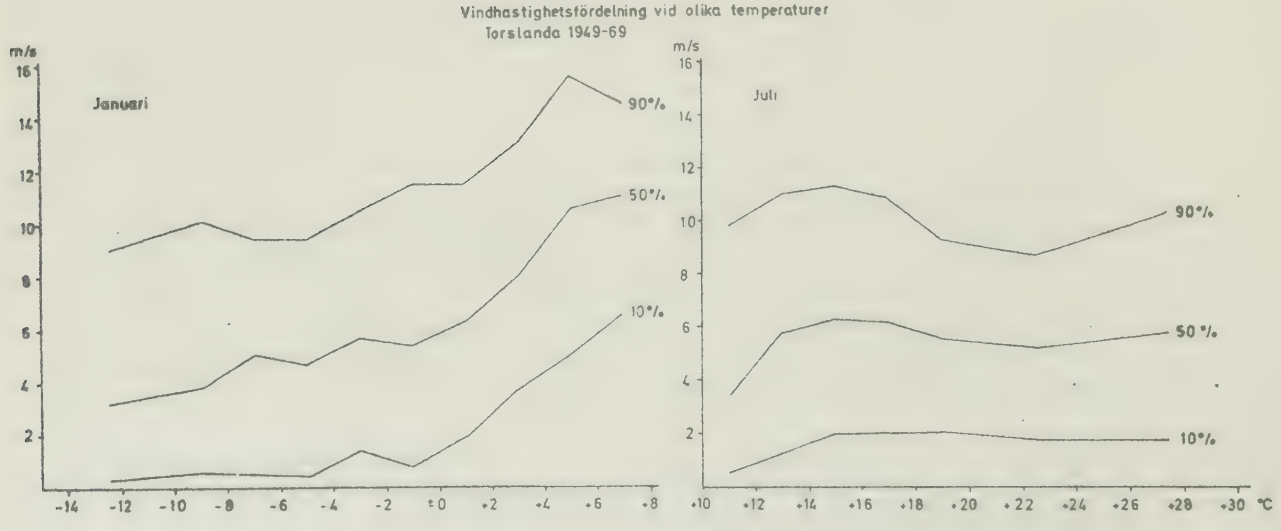


Fig 2.15 Vindhastighetsfördelningen vid olika temperaturer
Distribution of wind speeds at different temperatures

raturer. Spridningen kring genomsnittsvärdet vid en bestämd lufttemperatur är av samma storleksordning, eller är t o m större än den genomsnittliga variationen i hela temperaturintervallet. Spridningen är dock i detta fall likartad i hela intervallet.

Luftföroreningar

Till atmosfären avges stora mängder luftföroreningar av olika slag från fasta anläggningar (industrier, anläggningar för energi- och värmeförsörjning) och från trafiken. En genomgång av de viktigare ämnesgrupperna i bilavgaserna, deras andel av totala luftföroreningsmängderna och deras skadeeffekter ges av Persson (1974).

Endast ett fåtal av dessa ämnen är föremål för kontinuerliga mätningar. I Göteborg, delvis i samarbete med Chalmers och IVL, har stoft och svaveldioxid mätts sedan 1959, kväveoxider och ozon sedan 1972 (Hälsovårdsnämndens i Göteborg årsberättelser). En redogörelse för de första fem årens mätningar ges av Gothenburg air pollution committee (1966) och en beskrivning av nuvarande mätsystem av Heimler et al. (1975).

Kväveoxider

Delar av mätserien från 1974-75, uppmätt på taket av Hälsovårdsnämndens lokaler, har analyserats av Grennfelt & Heimler (1976) och Grennfelt (1976).

Kväveoxider bildas vid förbränning i luft vid förhöjd temperatur. Övergång till fjärrvärmeanläggningar som arbetar med hög temperatur och ökad stadstrafik i kombination med högre tryck och förbränningstemperatur hos motorerna har lett till ökad emission av kväveoxider. Ca två tredjedelar av emissionerna kommer från stationära anläggningar och resterande tredjedel från stadstrafiken.

Halterna av kväveoxider kunde under vintern överstiga 1 ppm för timmedelvärden, medan medelvärdet låg på 0,06 ppm. Den aktuella vintern var emellertid betydligt varmare än normalt.

Dygnsvariationen är svag för kvävedioxid (NO_2), medan den för kvävemonoxid (NO) är betydande med toppvärden vid midnatt och mellan kl 6-9. Låga värden registreras under dagen och den tidiga kvällen samt vid soluppgången. De höga nattvärdena torde bero på genomsnittligt stabilare luftskiktning som dämpar luftens vertikalrörelser och hindrar dess spridning. Dagtid är ventilationen bättre i och med att luften är labilare skiktad och tillåter större vertikalrörelser samtidigt som vindhastigheten ökar. De höga värdena under morgontimmarna orsakas av trafik till arbetsplatserna och av att verksamheten vid de stora anläggningarna startar.

Kvävedioxidhalten är i stort sett oberoende av vindriktningen, medan kvävemonoxidhalten är högst vid vind från NO-ONO och SSO. De höga värdena torde dels förklaras av att luften är stabilare skiktad vid ostliga vindriktningar, dels av emissionskällornas typ

och fördelning. I sektorn SV-NV finns många stora stationära förbränningsanläggningar (varv, raffinaderier, bilindustri och fjärrvärmecentraler), medan det i sektorerna NO-ONO och SSO endast finns ett fåtal stora anläggningar men däremot flera betydande trafikplatser. Det är därför troligt att de höga halterna av kväveoxider huvudsakligen orsakas av biltrafiken. Ytterligare stöd för denna uppfattning är att utsläppen av svaveldioxid från fasta anläggningar är av ungefär samma storleksordning, medan de uppmätta svaveldioxidhalterna endast är en tiondel av halterna av kväveoxider.

Ozon

Ozonepisoder på Västkusten har beskrivits av Grennfelt (1975, 1976a och 1976b). Höga ozonhalter (O_3) kan antingen vara beroende av stark vertikal omblandning av det naturligt förekommande ozonet i stratosfären eller av ozonbildning genom fotokemiska reaktioner med andra luftföroreningar.

Timmedelvärden av ozonhalten kan överstiga 0,1 ppm några gånger varje sommar. Mätningar vid en referensstation 4 mil söder om Göteborg och trajektorieberäkningar visar att ozonet till största delen är långtransporterat och att luften ofta passerat industriområden på kontinenten och brittiska öarna. Korrelationsberäkningar med halterna av partikelburet svavel tyder på att ozonet vintertid delvis bryts ner av andra luftföroreningar, medan det sommartid nybildas genom fotokemiska reaktioner.

Trots att ozonet huvudsakligen är långtransporterat, visar ozonhalten en dygnsvariation. Denna är emellertid omvänd mot kväveoxidernas dygnsvariation och torde därför vara styrd av att ozonhalterna reduceras genom att ozonet reagerat med kväveoxider.

Svaveldioxid

Svaveldioxid (SO_2) bildas vid förbränning av i huvudsak olja men också naturligt vid nedbrytning av organiskt material. Beroende på i första hand uppvärmningsbehovet vintertid visar svaveldioxidhalterna en årscykel med högsta värden på vintern och lägst på sommaren. Svaveldioxidhalten påverkas också av utfällning med nederbörden (Högström 1973) och av den vertikala omblandningen, som beror på vindhastigheten och luftens stabilitet. Möjligheten till omblandning kan uttryckas med parametrar som representerar turbulensen i vertikal- och horisontalled (Marsh & Foster 1967, s 533), konvektiv och mekanisk turbulens (Moore 1974, s 544), blandningshöjd (= höjden till lägsta tjockare inversionsskikt, Bringfelt 1971, s 955) eller ventilationsindex (vindhastighet i förhållande till en stabilitetskoefficient, Högström 1975, s 121 eller vindhastighet multiplicerad med blandningshöjd, SMHI 1976, s 18).

I Stockholm undersökte Bringfelt (1971) den multipla regressionen mellan dygnsvärden av svaveldioxidhalt och meteorologiska parametrar. Högsta korrelationen med svaveldioxidhalten hade tempe-

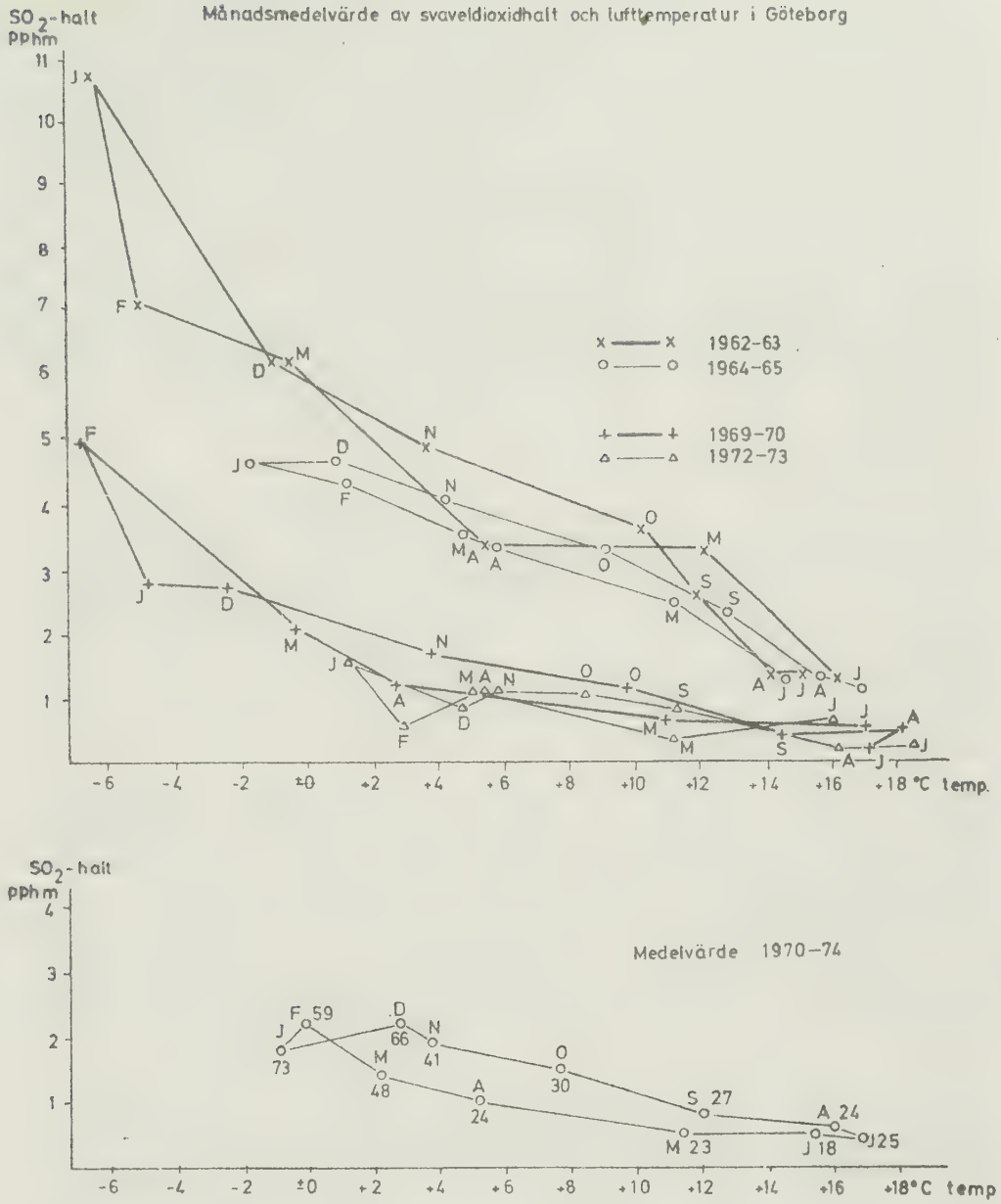


Fig 2.16 Samband mellan månadsmedelvärdena av lufttemperatur och svaveldioxidhalt a) några enskilda år med varm resp. kall vinter och före resp. efter införda begränsningar i oljans svavelhalt b) medelvärde för en femårsperiod. Lägg märke till att vid samma lufttemperatur är SO_2-halterna högre på hösten än på våren. Siffrorna intill månadsbeteckningarna anger procentuella antalet dagar med en blandningshöjd mindre än 500 m enligt SMHI (1976).

Co-variation between monthly means of air temperature and sulphur dioxide concentration a) some years with warm resp. cold winter and before resp. after regulations of the sulphur concentration in fuel oil b) average for a period of five years. Note that at the same temperature the sulphur dioxide concentration is higher in autumn than in spring. The numbers give the monthly percentage of days with mixing height less than 500 meters according to SMHI (1976).

raturen, därnäst på betydligt lägre nivå vindhastighet och blandningshöjd. Att vindhastigheten inte hade större betydelse kan förklaras av att vid låga vindhastigheter kan den varma skorstensröken stiga högre, vilket ger lägre markkoncentrationer. Vid högre vindhastigheter kan däremot en del av röken föras ned mot marken i virvlar kring höga byggnader. Några dagars stagnation (stabil skiktning och låg blandningshöjd) medförde kraftigt förhöjda värden av svaveldioxidhalten.

Början av 1960-talet utmärktes i Göteborg av särskilt vintertid stigande SO_2-halter beroende på en kombination av ökande eldning med svavelhaltig olja och kalla vintrar. Sedan vintern 1962-63 har halterna i stort sett varit avtagande fram till de allra senaste åren beroende på restriktioner i svavelhalt, övergång till fjärrvärme och en rad milda vintrar.

Sambandet mellan oljans svavelhalt och månadsmedelvärden av svaveldioxidhalt och lufttemperatur i Göteborg framgår av fig 2.16. De extrema halterna hör samman med de kallaste månaderna. Jämförs värden från början av 1960-talet med senare års värden, ligger de på helt olika nivå. Största delen av denna sänkning torde bero på restriktioner av svavelhalten i olja (max 1% svavel från 1967, numera max 0,7%). I Stockholm har Bringfelt på samma sätt konstaterat denna utveckling.

Ser man närmare på SO_2-halternas fördelning under olika månader, finner man att vid samma temperatur är höstvärdena vanligen större än vårvärdena (fig 2.16.b). Förklaringen till detta är att blandningshöjden genomsnittligt är mindre på våren än under hösten, vilket kan utläsas ur SMHIs redovisning (1976, tab 7). Detta beror på att marken och sekundärt även luften värms upp under våren, vilket medför en genomsnittligt labilare skiktning än under höstavkylningen som gynnar stabila skiktningstyper.

Registreringar i april 1975 visar att de högsta halterna av svaveldioxid i centrum av Göteborg erhålles vid vind från NO-ONO och S-SSO, d v s luft som strömmat från industriområden i Säveåns och Mölndalsåns dalgångar. Ett mindre maximum förekommer också vid vind från de tunga industriområdena i väst (Grennfelt 1976, fig 7). Att det senare maximat är mindre än de båda andra torde bero på att luften har högre värde på ventilationsindex vid vind från V (SMHI 1976, fig 4b).

Sot

Sot är den svarta delen av de suspenderade partikulära föroreningarna. Sothalten bestäms genom att man filtrerar luft och med en reflektometer bestämmer svärtningsgraden hos det material som samlats upp på filtret (Gothenburg air pollution committee 1966, s 15, Grennfelt et al. 1971). Andelen sot står inte i någon bestämd relation till totalmängden partiklar (Gothenburg air pollution committee 1966, s 45).

Sotet produceras till stor del lokalt i stadsområdet. Det förekommer också episoder där höga sothalter orsakas av långtransport med vindar från SV-SO från industriområden i Europa (Gothenburg air pollution committee 1966, s 26, Brosset & Åkerström 1972, Rohde et al. 1972, Andréasson et al. 1973, Brosset et al. 1974 och Brosset 1975).

Sotkoncentrationen har samma årstidsvariation som svaveldioxiden med maximum under vintermånaderna. På samma sätt som svaveldioxiden ökade sothalterna under första delen av 1960-talet. Sedan dess har de avtagit, även under de senaste vintrarna när svaveldioxidhalten på grund av de kalla vintrarna ökat något.

3. STORM OCH ORKAN I GÖTEBORGS-OMRÅDET

Stormen den 22 september 1969 orsakade skador i hela södra Sverige. Hårdast tycks dock Göteborgsområdet ha drabbats. Under stormen utförde jag en del mätningar av vindhastigheten i bebyggelsen och dagarna efter observationer av stormens skadeverkningar. Intresset har som en följd av detta kommit att riktas på vilka egenskaper hårda stormar har, vilka skadeverkningar de ger och hur ofta de förekommer. Avsikten har bland annat varit att försöka avgöra hur pass unik stormen 1969 var.

Ur SMHIs "Månadsöversikt över väderlek och vattentillgång" kan man erhålla uppgifter om vilka dagar storm förekommit vid kuststationerna. Vinga, som ligger 23 km VSV Göteborgs centrum, är den närmast belägna av dessa stationer. Den undersökta tidsperioden omfattar åren 1920 - 1976. Tidigare har hårdvind- och stormfrekvensen vid bland annat Vinga undersökts för tiden 1912-21 (Östman 1926) och 1949-60 (Sjölander 1965).

Definition av storm och orkan

Under årens lopp har definitionen av storm och orkan varierat något liksom observationsmetoden. Vissa perioder har vindmätare saknats eller varit ur funktion. Vindstyrkan har då uppskattats i Beaufort-grader.

Som 'storm' har fram till 1954 räknats 10 Beaufort eller mer och 22 m/s eller mer, och från 1954 9 Beaufort eller mer och 21 m/s eller mer. Jag har för hela tidsperioden använt mig av de förstnämnda definitionerna. Med 'orkan' (12 Beaufort) jämställdes en tid vindhastigheter på 30 m/s eller mer (Östman 1928, s 7). Denna definition har jag utnyttjat även om den nu gällande gränsen för 12 Beaufort är knappt 33 m/s eller mer (Liljequist 1962, s 84). De valda definitionerna medför att det går att hålla enhetliga gränsvärden genom hela tidsserien från 1920.

Vindmätare och observationsmetoder vid Vinga

Rungs anemometer

Vid Vinga användes sedan 1908 Rungs anemometer placerad 6-8 m ovan marken (Östman 1926, s 7). Denna vindmätare består av ett vertikalt rör kopplat till en manometer. När vinden blåser över rörets mynning skapas ett undertryck, som är proportionellt mot kvadraten på vindhastigheten. Avläsningsinstrumentet var försett med tre visare, en som registrerade den mo-

mentana vinden medan de båda andra visade högsta resp. lägsta värde sedan senaste inställning (Östman 1928, s 10).

Sandströms anemometer

Rungs mätare ersattes någon gång mellan 1923 och 1926 (troligen 1923) med en av Sandström konstruerad skålkorsanemometer vars diameter var nästan 90 cm. Mäthöjden var 10 m ovan marken. Avläsningen gick så till att för varje 100-tal m vindväg slöts en strömkrets, vilket kunde avlyssnas som en knäpp i en telefonlur. Genom att räkna antalet knäppar per 100 sekunder erhölls vindhastigheten (Östman 1928, s 12).

Uppskattning av vindstyrkor

Under hela 1940-talet rapporterades vid Vinga vindstyrkorna i Beaufort i Månadsöversikterna. Lots- och fyrpersonalen, som skött rapporteringen, är självklart väl skickad att utföra denna uppskattning. Betydande skillnader mellan olika observatörer har dock konstaterats vid andra observationsplatser (Östman 1928, s 14) och konstant överskattning av de hårda vindstyrkorna (Norrman 1964, s 44).

SMHAs och SMHIs anemometrar

Inspektionsprotokoll (personal vid SMHIs klimatbyrå) berättar att det även under 1940-talet fanns vindmätare vid Vinga. 1941 sattes en ny vindmätare upp i fyrtornet 35 m ovan marken, vilket senare ansågs vara en olämplig placering, och 1947 ersattes den med en ny mätare, placerad på 8 m höjd. Den senare mätaren var försedd med en kronograf som registrerade när strömkretsen i mätaren slöts. Kronografen fungerade emellertid dåligt de första åren.

Från 1950 meddelas åter vindhastigheterna vid Vinga i m/s i Månadsöversikterna. De rapporterade värdena var utvärderade från kronografremsan och var högsta förekommande medelvärde för varje stormdygn beräknat för perioder om 6 minuter.

Mätarens placering ansågs enligt besiktningsprotokollen vara olämplig. Läget ändrades därför flera gånger under 1950-talet. Mäthöjden höjdes 1955 till 12 m och 1959 installerades ett betydligt lättare och mindre skålkors. Ett nytt registreringsinstrument som integrerar vindhastigheten i perioder om 10 minuter togs i bruk 1968.

Den nuvarande placeringen av vindmätaren anses ge för låga värden vid västlig vind. Enligt lotspersonalen, som sköter avläsningen, visar den 4 m/s för litet vid hård västvind.

Skillnader i uppmätt vindhastighet mellan olika mätare

Vindmätarens konstruktion, mäthöjd, mättid och sättet att avlä-

sa vindhastigheten har således förändrats vid flera tillfällen under den studerade perioden. Detta medför att värdena för olika delar av mätserien inte är helt jämförbara. Några korrektioner för de skillnader som säkerligen förekommer har inte utförts, men följande synpunkter kan nämnas.

Rungs vindmätare har varit placerad på relativt låg höjd, vilket bör ge lägre värden. Mättiden har inte varit fixerad utan i stället har högsta värde (vindby) eller ett intervall angetts. Östman (1928, s 11) har också mycket riktigt konstaterat att de högsta vindhastigheterna längs kusten oftast uppmätts med Rungs vindmätare.

Skålkorsanemometrar anses särskilt vid byig vind ge alltför höga värden beroende på att skålkorset på grund av sin tröghet bibehåller hög rotationshastighet något längre än vinden sin höga hastighet. I en teoretisk studie fann Ramachandran (1969) att vindöverskattningen kunde uppgå till 20%. B. Eriksson (1977, s 9) anger 5% överskattning av vinden med de moderna små mätare som SMHI nu använder. Sandströms mätare hade ett stort och tungt skålkors, vilket bör förstärka överskattningen av vindhastigheten. Den korta mättiden medför att högsta observerade medelhastighet kan bli alltför hög. Mäthöjden har varit över genomsnittet, vilket kan ge något högre värden. Däremot bör avsaknaden av registrering medföra att de allra blåsigaste delarna av en storm kan undgå observation.

Storm- och orkanfrekvens

Genomsnittligt förekommer vid Vinga 5,8 dagar med storm per år. Variationen i frekvens är betydande. Åren 1952, 1960 och 1972 inträffade inga stormar, medan åren 1920 och 1921 hade 23 resp. 24 dagar med storm. Orkan har enligt den använda definitionen förekommit vid 19 tillfällen under perioden 1920-76, vilket ger 1 orkan på 3 år. Orkanrikaste året har varit 1921 med 6 orkantillfällen och 1948 med 4 eller, om även fortsättningen av stormperioden i januari 1949 räknas, med 5 orkantillfällen.

De flesta stormarna och orkanerna förekommer under september - januari. Orkanerna är jämnt fördelade på dessa månader, medan stormarna har störst frekvens i december (fig 3.1.c). Varaktigheten av hårdvindtillfällena på Västkusten har också en tydlig årstidsvariation med längst varaktighet i december - januari (Sjölander 1965). Höst och vinter är frekvensen av hårda vindar på Västkusten högre på kvällen än under resten av dagen. Vår och sommar är frekvensen i stort sett lika hög för de tre observationstillfällena (Östman 1926, s 25).

Vindriktningsfördelningen vid storm har två utpräglade maximisektorer (fig 3.1.a). Vinden kommer i 44% av stormarna från sektorn S-SSV-SV och i 37% från sektorn NV-VNV-V. VSV har märkligt låg stormfrekvens.

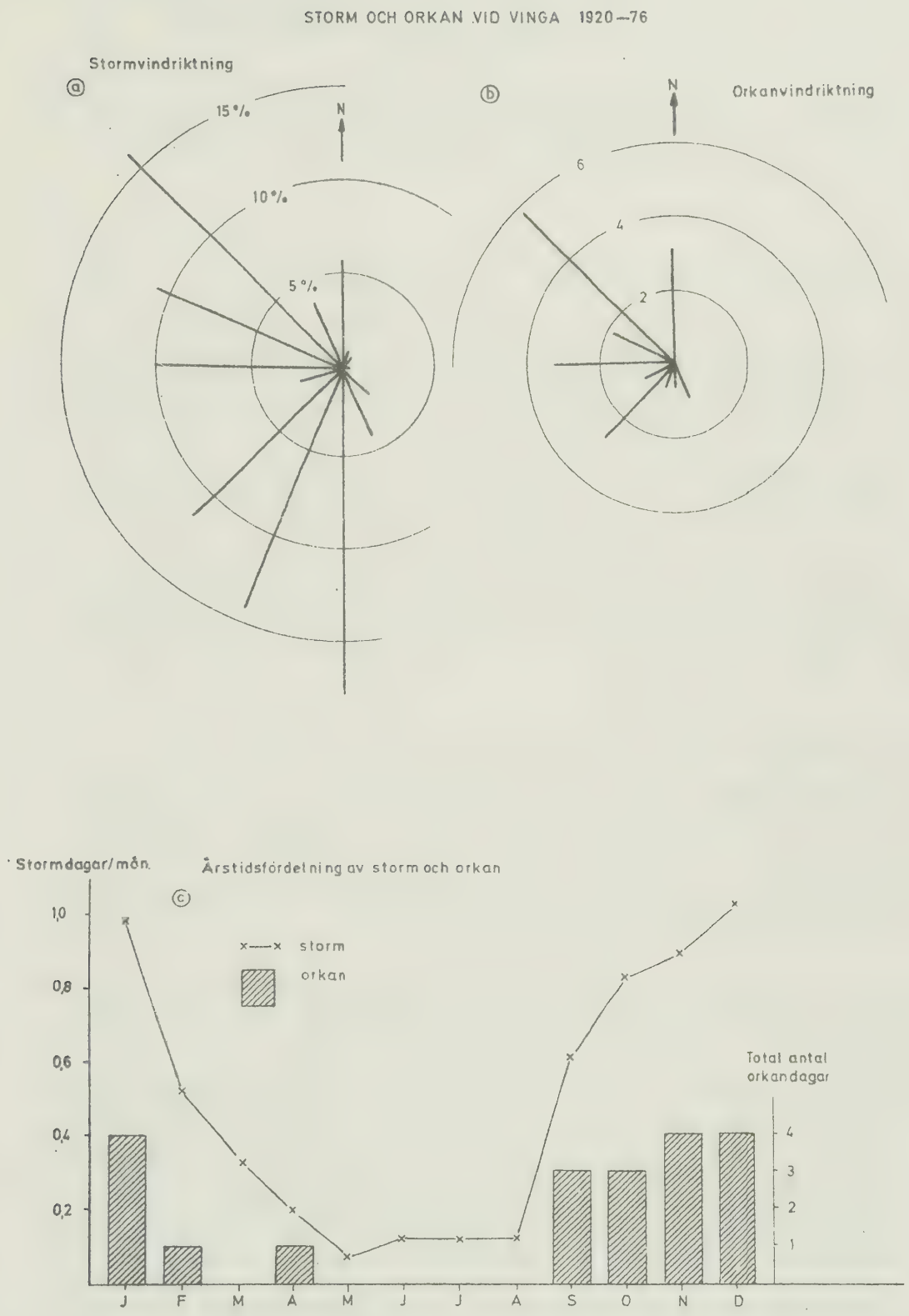


Fig 3.1 Frekvens av orkan och storm vid Vinga

Frequency of hurricanes and storms at Vinga light house

Kustläget gynnar hög vindhastighet från havet. Fördelningen torde också förklaras av att de högsta vindhastigheterna antingen förekommer i samband med inträngande av lågtryck över Svealand (S-SSV-SV-sektorn) eller i samband med kalluftmassan efter själva lågtryckspassagen (NV-VNV-V-sektorn).

Vid 11 av de 19 orkantillfällena har vinden kommit från sektorn NV-VNV-V med NV som dominerande enskild riktning. S-SSV-SV-sektorn är här svagare företrädd med endast 3 orkantillfällen (fig 3.1.b).

Skadeverkningar av orkaner

För samtliga tillfällen med 'orkan' vid Vinga sedan 1919 har jag sammanställt uppgifterna i SMHIs "Månadsöversikter" med artiklar och notiser från samma tillfällen i Göteborgs Handels- och Sjöfartstidning. I listan över orkanerna finns även några som inträffat före 1919. De är inte framtagna genom någon systematisk genomgång av något källmaterial. De har i stället uppmärksammats genom att de nämnts i samband med senare inträffade orkantillfällen. Av den följande redogörelsen framgår att en del av orkanerna knappast förtjänar den beteckningen. I beskrivningarna har därför genomgående beteckningen storm utnyttjats. I nedanstående förteckning avser alla uppgifter Göteborg, om inte andra orter uttryckligen nämns. Vinduppgifter från andra västkuststationer än Vinga är omnämnda, om de uppnått orkan.

I. 1863, oktober 30-31

Stormens förlopp: Efter en längre tid med milt väder började stormen från V på kvällen den 30. Från midnatt och till morgonen den 31 rasade stormen med sin största styrka. Därefter avtog den något, vred till VSV och åtföljdes av starka åsk- och hagelskurar. Under em den 31 började molntäcket spricka upp, men stormen fortfor ända in på natten.

Skador: Ett av de svårast skadade husen låg i exponerat läge vid Skeppsbron. Stora delar av dess skiffertak slets av och föll i gatan. I Trädgårdsföreningen slets väggbeklädnaden av konditoriet. Ett par större skorstenar vid gasverket slogs ner. Ett stort plåttak i hamnen slets av och det gjorde också en del av taket på Skansen Kronan. Den optiska telegrafen på Otterhällebergets topp, vilken i många år trotsat stormarna, vräktes ned. Sönderslagna tegelpannor täckte stora delar av stadens gator och torg. Gaslyktor knäcktes och en del stora popplar i Trädgårdsföreningen fälldes. Vattnet i älven steg högt och översvämmade stränderna.

I Uddevalla steg vattnet nära 8 fot och 'översvämmade hela den närliggande trakten'. Delar av plåttaken på gasverket och kyrkan slets av och 'omkring 20 stycken staket, som eljest trotsat sekler, måste nu ge vika och fingo äntligen en behövlig vila efter sin trogna och långvariga tjänstgöring'.

Dåtida omdöme: I Göteborg ansågs ovädrets härjningar 'hava varit svårare än man här i mannaminne upplevat'. I Uddevalla gick man tillbaka till 1824 för att finna en motsvarighet.

Fredberg (1919), som i tre band kåserar över människor och händelser i 'Det gamla Göteborg', säger att stormen 1863 var den värsta de senaste 60 åren och att 'minnesgoda gamlingar försäkra, att julstormen 1902 var en barnlek mot förenämnda'.

II. 1872, november 6-7

Stormens förlopp: På em den 6 började det blåsa en stark vind från SV. Tidigt på morgonen den 7 övergick den till orkan med häftiga regnbyar.

Skador: En mängd tegelpannor blåste ned liksom en del plank. Vattenståndet i älven steg betydligt över det normala. Nästan samtliga telegrafledningar sattes ur funktion.

Dåtida omdöme: I Lysekil kunde man ej minnas en liknande storm sedan 31 oktober 1863.

III. 1902, december 25-26

Stormens förlopp: Det började blåsa på juldagseftermiddagen. Vid midnatt hade vinden övergått till orkan. Vindriktningen varierade mellan V och N.

Skador: Husen vid Långgatorna blev mer eller mindre ramponerade. Länscellfängelset fick takplåtar avslitna och Örgrytes nya kyrktornskors blåste ned. Vattnet steg i hamnen 'till knappast sedd höjd'. Här och där knäcktes träd. Telegrafledningarna blev svårt ramponerade.

Längs bohuskusten rapporterades flera avblåsta tak. Från Halmstad meddelades att mängder av hus ramponerats, fönster krossats och elledningar brutits av orkanen från NV.

Dåtida omdöme: I Varberg ansåg man att det var 'en svår storm vars like ingen kan minnas'.

IV. 1919, november 24

Högsta medelvindhastighet: Vinga NV 30 m/s.

Stormens förlopp: Två lågtryck drog efter en köldperiod över mellansverige mot SO. De hårdaste vindarna förekom på em den 24 i kalluftmassan mellan lågtrycken. I Göteborg varade stormen endast tre timmar på em den 24.

Skador: Vattnet steg i hamnen till 0,9 m över medelvattenstånd, men flodvågen varade endast en halvtimme. Vissa fel uppstod också i telefon- och telegrafledningarna.

Längs Hallandskusten var ovädret intensivare och medförde större och mer omfattande skador. Från Falkenberg rapporteras nedblåsta stolpar. Trakten kring Halmstad utsattes för omkullblåsta stolpar, avslitna ladugårdstak och svåra stormfällningar i skogarna. I Halmstad dansade tegelpannor i gatan, skyltar och plank blåste omkull och vattnet steg i hamnen till 1,12 m över medelvattenstånd.

Dåtida omdöme: I Halmstad sade man att man får gå flera år tillbaka för att finna motsvarande stormhärjningar.

V. 1920, januari 27-30

Högsta medelvindstyrka: Vinga SSO 12 Beaufort, Smögen OSO 31 m/s.

Stormens förlopp: Stormen uppkom i samband med att ett lågtryck från södra England trängde in över landet. Då ovädret passerade Irland hade vindhastigheter på mer än 50 m/s uppmätts.
I Göteborg började den hårda vinden, som åtföljdes av snöfall den 27 och fortsatte hela dagen den 28 med större intensitet. Den 29 ökade vinden från SSO ytterligare och mojnade inte förrän på natten till den 30.

Skador: I Göteborgstrakten tycktes endast några mindre fel på telegrafledningarna ha uppstått samt mindre tågförseningar på grund av snödrivor. I Skåne och Blekinge var skadorna något mer omfattande.

Dåtida omdöme: I Skagen ansåg man att den tre dagar långa orkanartade snöstormen icke haft någon motsvarighet på flera år.

VI. 1921, januari 23-24

Högsta medelvindhastighet: Vinga NV 30 m/s, Smögen NNV 38 m/s.

Stormens förlopp: Det andra av två lågtryck som snabbt passerade mot SO. På em den 23 började det blåsa kraftigt. Hela natten och fm den 24 rasade en våldsam storm. Åska. Någon snö föll.

Skador: Några mer betydande skador rapporterades inte. Enstaka fönsterrutor trycktes in. Några plank och lyktstolpar blåste omkull. Vissa avbrott i telefonledningarna.

VII. 1921, oktober 23

Högsta medelvindhastighet: Vinga N 33 m/s, Smögen NNO 31 m/s.

Stormens förlopp: Ett lågtryck rörde sig från Irland mot Skåne. Över Nordsjön fördjupades det kraftigt och hade sin största intensitet då centrum passerade Malmö (968 mb kl 19). I norra Götaland medförde lågtrycket snöstorm till orkan.
I Göteborg ersattes det blida brittsommarvädret av häftiga hagelskurar kl 04 den 23. Sedan följde snöstorm under hela dagen.

Temperaturen var strax över 0°C och snön förvandlades till fotsdjup sörja. Nederbörden uppgick till 23 mm. Den 24 på morgonen hade snöfallet upphört. Vinden hade mojnat och vindriktningen gått över från O till NO, men under förmiddagen ökade den åter.

Skador: Från olika håll i staden rapporteras lösryckta tegelpannor och plåtskoningar. Enstaka flaggstänger knäcktes och skyltfönster trycktes in. Vattenståndet sjönk på grund av ostvinden till 0,66 m under medelvattenståndet.

Stor skadegörelse, orsakad av den tunga snön, drabbade telefon- och telegrafledningarna. Omfattande stolpras förekom över hela Västsverige. Svåraste skadorna utsattes Bohusbanan för med 600 av de sammanlagt 1500 omkullvräkta stolparna. Även tågtrafiken drabbades av svåra förseningar.

Från Västergötland rapporteras avsevärd stormfällning av skog. Från Varberg och Malmö meddelas att stormen knappast orsakat några skador. Stora delar av Danmark blev illa åtgånget liksom Hamburg.

Dåtida omdöme: I många orter jämförs denna storm med julstormen 1902. Särskilt anmärkningsvärt anses den stora utbredningen av stolprasen vara. SMHI-observatören i Koberg i Västergötland rapporterade att äldre personer inte sett så mycket skog omkullvräkt på 60 år.

VIII. 1921, november 1-2

Högsta medelvindhastighet: Vinga NV 36 m/s, Smögen NV 39 m/s, Klädesholmen V 12 B, Hälsingborg NV 12 B.

Stormens förlopp: Ett lågtryck rörde sig den 1 från Jämtland under fördjupning österut. Kl 19 hade Vasa 950 mb. Den hårda vinden, som på västkusten nådde orkanstyrka, vreds från SV till N och åtföljdes av regn- och hagelskurar.

I Göteborg var vindhastigheten redan på morgonen den 1 bortåt 30 m/s. Under förmiddagen klarnade det och vinden avtog något för att sedan åter öka. Den 2 avtog vinden betydligt, kantrade till N och 'på em blev det verkligt vackert väder'.

Från Smögen rapporterades att då orkanen vid 4-tiden den 1 var på höjdpunkten syntes havet utanför skären som en vit rök.

Skador: En mängd tegelpannor och delar av plåttak blåste ner. Fönsterrutor krossades. Vattenståndet steg ca en meter. Telefonledningarna drabbades, men i begränsad omfattning 'beroende på att det ej föll någon snö'. Enstaka stolpras förekom dock.

Dåtida omdöme: Stormfloden drev upp vattnet i Lagan nästan lika högt som 1902. I Köpenhamn betecknas stormen som den kraftigaste sedan julstormen 1902. Samma jämförelse gjorde man även vid föregående veckas storm, vilket bör innebära att man ansåg den senare stormen som något värre.

IX. 1921, december 17-18

Högsta medelvindhastighet: Vinga NV 36 m/s, Smögen VNV 37 m/s.

Stormens förlopp: Den 17 passerades Skandinavien i östlig riktning av 'ett av de kraftigaste i våra trakter observerade oväderscentra', varvid lufttrycket i centrum gick ner till 951 mb utanför norska kusten.

I Göteborg ökade vinden på em den 17 och vreds från SV till NV. På kvällen och natten uppnåddes full orkan.

Skador: En del tegelpannor och takplåtar slets loss, bl a några kopparplåtar på Vasakyrkan. En del träd blåste också omkull liksom någon gaslykta. Vattenståndet ökade så att vattnet svämmade över Skeppsbrokajen, vilket hänt flera gånger tidigare. På telegraf- och telefonledningar anställdes en del förödelse.

Från inlandet meddelas att träd blåst omkull i skogen, att halmtak slitits av och att elledningar skadats. Längs kusten skadades bryggor och badhus.

Dåtida omdöme: Sjöfarten kom jämförelsevis lätt undan, vilket ansågs bero på stormens korta varaktighet. I Halmstad steg vattnet 2,15 m över medelvattenstånd, vilket ej inträffat sedan 1902 och vattenståndet i Malmö var högre än man någonsin tidigare observerat.

X. 1921, december 20-21

Högsta medelvindhastighet: Vinga V 30 m/s, Smögen V 36 m/s.

Stormens förlopp: Den kraftiga västvinden den 20 övergick till en häftig storm med åska. Den rasade med oförminskad styrka hela natten till den 21. Vinden vreds på morgonen den 21 till VNV och avtog. I Lysekil noterades att havet var våldsamt upprört och såg ut som vit rök.

Skador: 'Trassel' på telegraf- och telefonledningarna. Vattenståndet nådde 1,33 m över medelvattenstånd. Från Lysekil rapporterades, att åtskilliga byggnader ramponerats.

XI. 1921, december 30-31

Högsta medelvindhastighet: Vinga N 35 m/s, Smögen NNV 32 m/s, Hälsingborg NNV 12 B, Morups Tånge NNV 12 B.

Stormens förlopp: Ett kraftigt utvecklat oväderscentrum, som från 'Nordhavet' med sydostlig rörelseriktning drog fram över Skandinavien.

I Göteborg började det blåsa upp från N på kvällen den 30 och vid middagstid den 31 rådde full orkan. På kvällen avtog vinden och det blev stjärnklart. Den 1 januari blåste det tidvis

kraftigt och regnade.

Skador: Några skador på träd eller byggnader omtalas inte trots den höga vindhastigheten som rått. Å andra sidan var detta den femte orkanen på drygt två månader. De svaga objekten bör därför redan ha rensats ut.

Telegraf- och telefonledningarna skadades emellertid svårt av saltbeläggningar. Dessa blev elektriskt ledande och medförde kortslutningar, då de tog upp fuktighet från luften och från nederbörden den 1 januari.

I Skåne och på de danska öarna, vilka ansågs värst drabbade, orsakade högt vattenstånd stora översvämningar.

XII. 1925, januari 2-3

Högsta medelvindhastighet: Vinga VSV 32 m/s, Smögen SV 12 B, Klädesholmen VSV 33 m/s.

Stormens förlopp: Ett nära orörligt lågtrycksområde befann sig vid Island. På dess sydsida blåste en varm sydvästlig luftström, som gav kuling till storm med åska och hagel på västkusten.

I Göteborg började stormen den 2 vid 21-tiden och ökade till dess kulmen nåddes kl 2-3 natten till den 3. Lufttrycket var nere i 963 mb.

Skador: I Mölnlycke strax utanför Göteborg miste flera byggnader taken. Inne i Göteborg slets en fjärdedel av taket på Skansen Kronan av. Litet varstans blåste staket och skyltar omkull. I stadens västra delar lossnade en del tegelpannor och några fönsterrutor trycktes in. Planteringarna 'slapp förvånansvärt lindrigt undan', endast några få träd blåste omkull. Vattenståndet nådde 1,38 m över medelvattenståndet, vilket är nära tidigare uppnått maximum på 1,42 m över medelvattenstånd. Detta orsakade översvämningar på t ex Skeppsbrokajen.

Från norra Halland, sydvästra Småland och södra Västergötland omfattande stormfällning av skog och ramponering av telefonnätet. Från Ulricehamn meddelas även 'yrande' tegelpannor.

Dåtida omdöme: Orkanen ansågs inte ha haft motstycke på ett par års tid.

XIII. 1933, oktober 11-12

Högsta medelvindhastighet: Vinga S-SV 34 m/s, Klädesholmen SSV 30 m/s.

Stormens förlopp: Ett oväder som den 8 visade sig väster om Brittiska öarna tilltog kraftigt i styrka under långsam vandring över Nordsjön och mellersta Sverige till Kolahalvön. Den 10-12 orsakade detta lågtryck årets första höststorm.

I Göteborg kom stormen utan föregående varning på em den 11.

Skador: Lillhagens sjukhus miste en fjärdedel av sitt plåttak. Flera andra tak blev också illa åtgångna. Många tegeltak ansågs vara direkt farliga för förbipasserande. Åtskilliga plank vräktes omkull. En del skyltfönster trycktes in och några flaggstänger fälldes. Stormen härjade svårt i stadens parker. En del tågförbindelser försenades kraftigt på grund av stormfällda träd. Telefonförbindelserna drabbades hårt.

Västra delen av landet blev svårast hemsökt, men från hela Mellansverige och södra Norrland rapporterades stora materiella skador. Från flera orter i Västergötland berättades om svårartade skador - stormfällda träd, stolpras, yrande tegelpannor och avslitna tak. Värst drabbat tycks dock Strömstadsområdet blivit. Knappt ett hus tycks ha undgått skador. Gator och vägar var belamrade med tegelpannor, glas, takplåt, staket, träd och telefonledningar. Kallbadhuset från 1880-talet lades i spillror. Från Kosteröarna strax utanför Strömstad rapporteras 42 m/s och från Väderöarna något söderut 38,5 m/s (inte utsagt om det gäller vindstötar eller medelvindhastighet).

Dåtida omdöme: I Lerum utanför Göteborg och Vänersborg sades att detta var det värsta ovädret på 12 år. SMHIs observatör i Töreboda i nordöstra Västergötland uppgav, att stormnatten var den värsta han upplevt under sina 69 levnadsår. I Strömstad ansåg man detta vara den värsta stormen sedan 1871. Vilket stormtillfälle den sistnämnda uppgiften syftar på har jag emellertid ej lyckats utröna.

XIV. 1942, november 27-28

Högsta medelvindhastighet: Vinga N 12 B, Ursholmen NNV-N 12 B, Nidingen NV-N 12 B.

Stormens förlopp: Ett djupt lågtryck drog hastigt över Norrland mot SO och medförde storm i stora delar av landet.

I Göteborg började stormen från SV på kvällen den 27 och blev värre ju längre natten skred fram samtidigt som den vred över till N. Även på fm den 28 var vinden stark.

Skador: I Kungsladugård i västra Göteborg 'virvlade tegelpannor omkring som veritabelt bombsplitter'. Någon enstaka takskada och något krossat fönster rapporterades också. I stadens parker 'utförde stormen ett välkommet upprensningsarbete bland torra grenar'. Träden var avlövade och tjälen 10 cm, vilket bidrog till den obetydliga skadegörelsen.

XV. 1943, februari 19-20

Högsta medelvindhastighet: Vinga VNV-NV 12 B, Tylö VNV 12 B.

Stormens förlopp: Ett kraftigt lågtryck kom in från NV och pas-

serade landet mot SO. I Göteborg nådde vinden under natten orkanstyrka. På morgonen den 20 kantrade vinden mot N och avtog.

Skador: Några skador på byggnader eller träd rapporterades inte. Intresset knöts i stället till det 30-tal minor som stormen drev in till kusten.

XVI. 1944, september 8

Högsta medelvindhastighet: Vinga S-SV 12 B.

Stormens förlopp: Ett kraftigt lågtryck kom från Nordsjön in över Götaland och fortsatte mot NNO.

Skador: Allt som rapporterades var att några båtar slitit sig vid småbåtshamnen i Långedrag.

XVII. 1947, april 26

Högsta medelvindhastighet: Vinga V 12 B.

Stormens förlopp: Ett lågtryck drog från Skottland in över mellersta Sverige och medförde storm på västkusten. Vid Torslanda noterades att vinden var mycket byig.

Skador: Ett cirkustält förstördes delvis.

XVIII. 1948, september 18

Högsta medelvindhastighet: Vinga VNV 12 B.

Stormens förlopp: En kraftig cyklonverksamhet hade inletts. Som andra lågtryck i denna drog ett kraftigt oväder från södra Island in över Svealand och södra Norrland. På dess baksida uppkom storm över södra Sverige.

Skador: I mellersta Bohuslän orsakades stora skador på fruktskörden.

XIX. 1948, oktober 22-23.

Högsta medelvindhastighet: Vinga V-NV 12 B.

Stormens förlopp: Ett synnerligen kraftigt oväder passerade i ostlig riktning över mellersta Skandinavien och gav hård vind längs hela svenska kusten.

I Göteborg började stormen på kvällen den 22. Den hade sin största intensitet under natten men fortsatte hela dagen den 23. Vindbyar på upp till 35 m/s rapporterades.

Skador: Skyltar slets bort från väggarna och staket vräktes omkull. På åtskilliga ställen krossades fönster. I hamnen steg

vattnet 1 m och orsakade en del översvämningar. En 11.000-tonnare slet sig och en 12-tons lyftkran blåste omkull. En väldig massa träd blåste ned i parkerna. Stormfällningen mildrades dock av att lövträden fällt större delen av sina blad. Barrträden i Slottsskogen och Delsjöområdet drabbades svårt.

Dåtida omdöme: Stadsträdgårdsmästaren ansåg att detta var den värsta stormen sedan han 1933 kom till Göteborg.

XX. 1948, november 9

Högsta medelvindhastighet: Vinga SV 12 B.

Stormens förlopp: Ett lågtryck bildades söder om Island, fördjupades kraftigt och passerade hastigt Svealand. Större delen av landet fick ganska mycket nederbörd och södra delen fick storm.

XXI. 1948, december 31

Högsta medelvindhastighet: Vinga SV 12 B.

XXII. 1949, januari 15

Högsta medelvindhastighet: Vinga NV 12 B.

XXIII. 1969, september 22

Högsta medelvindhastighet: Vinga V 31 m/s, Hållö V 12 B, Måseskär VSV 30 m/s, Kullen V 32 m/s.

Stormens förlopp: Stormen blev årets första höststorm och drabbade landet mycket oväntat. Dagarna innan hade ett högtryck, som bildats över Norrland, förskjutits söderut och gett en efterdyning av sommarvärme.

Ett första mindre lågtryck passerade den 21. Nästföljande låg på natten till den 22 vid Skottland. Vindhastigheten var ännu inte anmärkningsvärd. För svenska västkusten hade endast kulingvarning utfärdats. På morgonen den 22 hade emellertid lågtrycket, bl a beroende på starka temperaturmotsättningar mellan kalluften i norr och mycket mild luft i söder, utvecklats till ett intensivt oväder, som från Sydnorge drog mot södra Finland samtidigt som det började utfyllas. Lufttrycket i centrum var vid passagen av Karlstad kl 12 den 22 974 mb. Bakom frontsystemet blåste under förmiddagen orkanartad västlig storm upp (fig 3.4.a).

I Göteborg tycks de högsta vindhastigheterna ha förekommit mellan kl 10 och 11. Vingas högsta värde uppmättes kl 10 och Torslandas (28 m/s) kl 11. Säve registrerade vindstötar på 37,5 m/s (Taesler 1971, fig I:2.11.b). Från Långedrag i Göteborgs västligaste del rapporteras vindstötar på upp till 42 m/s.

Skador: Effekten av stormen blev förödande. I de yngre västliga

stadsdelarna Tynnered, Västra Frölunda, Biskopsgården och Högsbohöjd lyftes ett femtiotal tak av husen, ofta beroende på dålig förankring (Johansson 1970). I Torslanda miste ett 25-tal tvåplansvillor taken. I hela Göteborgsområdet slets mängder av takplåtar bort, bl a en fjärdedel av taket på Skansen Kronan och hela taket på Kronhuset, som är stadens äldsta byggnad (från 1653). Taket var dock i sistnämnda fall omlagt 1954-56. Ett oräkneligt antal tegelpannor föll i gatan. Många skyltfönster och fönsterrutor trycktes in av det höga vindtrycket. Speciellt drabbades ett antal höghus i Västra Frölunda och Guldheden i södra Göteborg.

Skadeverkningarna blev störst där vinden fick fritt anlopp över flacka partier, som i Västra Frölunda och Tynnered, eller på västsidan av höjdpartier, som i Guldheden och Lunden strax öster om stadskärnan. Men även byggnader som till synes befann sig i lä i förhållande till den västliga vinden drabbades i flera fall hårt. Ett exempel på omfattningen och fördelningen av takskadorna enligt en inventering jag utförde i några stadsdelar dagarna efter stormen, ges i fig 3.2. Tidigare (Holmer 1971) har stormskadefördelningen i området mellan Gråberget och Stigberget, väster om stadskärnan, redovisats.

Mängder av träd vräktes omkull i stadens parker och skogsområden. Flertalet av träden tycks ha varit tämligen ålderstigna och med yviga kronor, i Allén fälldes t ex en alm från 1778. Allén och de flesta trädkantade gator blockerades fullständigt av nedfallna träd. Lövfällningen hade ännu inte påbörjats, vilket bidrog till den omfattande skadegörelsen. Även barrskogspartier i områdena kring Göteborg utsattes för svåra stormfällningar, vilka ofta bildade breda gator i vindriktningen. De nedvräkta träden ansågs av länsjägmästaren i Älvsborgs län motsvara 2-3 års avverkning.

En annan följd av stormen var att havssalt drevs in över landet av vinden och avsattes i tjocka lager på fönsterrutorna och även på elledningarna. Saltbeläggningen gav senare under veckan upphov till åtskilliga strömavbrott genom att saltet drog till sig luftfuktighet och duggregn och orsakade överslag. Växtligheten skadades också av saltet. Lövträden fick ett gråaktigt utseende på de skrumpnande bladen och på vindsidan fick barrträden efter hand en rödbrun färgton av de uttorkade barren.

I Kvarnabo några mil nordost om Göteborg lyftes ett sågverkstak på 10 x 60 m av och hamnade ett hundratal meter bort. I Lysekil rycktes träd upp med rötterna. I Borås och Mariestad skadades hus och skogar. I Ulricehamn brakade två ladugårdar samman.

Dåtida omdöme: SMHIs observatör i Ulricehamn ansåg, efter att ha bläddrat i bevarade journaler, att man måste gå tillbaka till oktober 1921 för att finna ett liknande kraftigt oväder.

I Horda i Jönköpings län ansåg man att man fick gå tillbaka ända till julstormen 1902 för att finna en liknande stormfällning i

byns skogar. En reporter i HT, vilken läst Fredsbergs (1919) kåseri om stormar, undrade om inte stormen 1863 var värre.

Fig 3.2 Skadegörelse på hustak i södra Guldheden i Göteborg orsakad av stormen den 22 september 1969.

1-4 skador på tegeltak
1 skador kring skorstenar
2 svår skada, nästan alla tegelpannor borta
3 måttlig skada, en stor del av tegelpannorna borta
4 liten skada, enstaka tegelpannor borta
5 oskadat tak
6 takplåt eller takpapp bortsliten
7 ej undersökt

Damages of roofs in southern Göteborg caused by the storm on the 22 September 1969.

1-4 damages on tiled roofs
1 damages around chimneys
2 heavy damages, almost all tiles were lost
3 moderate damages, large parts of the tiles were lost
4 little damages, single tiles were lost
5 roofs without damages
6 damages sheet metal roof
7 not investigated

Diskussion om 'orkanerna'

De flesta av orkanerna tycks höra samman med kalluftmassan bakom djupa lågtryck, som passerar över Svealand och södra Norrland. På detta tyder uppgifterna om vindriktning från NV, om vindkantring mot norr, om uppsprickande molntäcke och om konvektiva molnformer (hagel, åska och regnskurar). De sistnämnda kan även vara knutna till kallfronten som föregår kalluften.

Ett markant undantag utgör oktoberorkanen 1921. Lågtrycket passerade då över Skåne, vilket medförde att vinden kom från vindriktningar kring NO. Den mycket omfattande skadegörelsen av detta oväder på skog och telefonnät hänger delvis samman med det intensiva snöfall lågtrycket förde med sig.

Under 1940-talet uppskattades vindstyrkan vid Vinga i Beaufortgrader. I åtminstone några fall tycks man då ha övervärderat vindstyrkan. De obefintliga eller obetydliga skadeverkningarna och omgivande kuststationers relativt låga vindhastigheter (10 Beaufort och 22-25 m/s) tyder på detta. Det är diskutabelt om mer än ett av de fem tillfällena med 12 Beaufort i september 1948 - januari 1949 egentligen haft denna vindstyrka. Den hårda stormen i april 1947 är anmärkningsvärd, eftersom april månad hör till årets vindsvagare. Den starka byigheten hos vinden denna dag torde vara orsak till att vindstyrkan uppskattats till 12 Beaufort.

Skadeverkningarna under orkanerna i november-december 1921 liksom i viss mån januari 1925 verkar inte stå riktigt i proportion till de uppmätta vindhastigheterna (33-35 m/s). Detta kan bero på att vindhastigheterna på grund av vindmätarnas konstruktion övervärderats men också på att tidigare hårda vindar (framförallt oktober 1921) gallrat hårt bland svaga byggnadsdelar och träd.

Omvänt resonerat borde en del av den omfattande skadegörelsen i september 1969 bero på att det förflutit lång tid utan mycket hård vind (åtminstone sedan 1948, kanske sedan 1933). Det hade således blivit en ansamling av svaga objekt, vilka sedan slogs ut när septemberstormen 1969 kom. Både stadsträdgårdsmästaren och prefekten för Botaniska trädgården betonade efter denna storm den stora andelen gamla träd i Göteborg. Annorlunda byggnadsteknik och lättare material under efterkrigstiden har antagligen också bidragit till de stora skadorna, som i hög grad drabbade hus, byggda decenniet före stormen. Dessutom har det byggts fler hus och hus i högt läge. I skogen kan en ökad kalhyggesfrekvens ha lett till att vindskyddet tagits bort för ett större antal träd, vilket gett mer omfattande stormfällningar.

Vad som också försvårar bedömningen av stormarnas svårighetsgrad är att journalisternas skrivsätt och det utrymme de fått till förfogande i spalterna förändrats under den hundraårsperiod som studerats. Ett kort, koncist och odramatiskt, på 1800-talet ofta knapphändigt uttryckssätt, har särskilt under efterkrigsti-

den ersatts av större spaltutrymmen, men också av mer svepande formuleringar och dramatiserande beskrivningar, vilka ger föga konkret material för en bedömning av skadeeffekterna. Ibland bidrar också konkurrerande händelser till mindre omfattande eller obefintlig rapportering (t ex valet i september 1948). Nyhetsvärdet kan också delvis ha förlorats på grund av tidigare inträffade stormar. Så tycks ha varit fallet i december 1921, då den sista svåra stormen beskrevs i närmast kåserande vändningar. 1969 torde det långa uppehållet sedan föregående svåra storm däremot ha höjt nyhetsvärdet.

Med viss tvekan kan man dock försöka gruppera 'orkanerna' efter svårighetsgrad.

I. Omfattande och svår skadegörelse:

30-31 oktober 1863, 25-26 december 1902, 23 oktober 1921, 2-3 januari 1925, 11-12 oktober 1933, 22 september 1969.

I b. Skadegörelsen dämpad av tidigare oväder med omfattande skadegörelse men mycket hög vindhastighet:

1-2 november 1921, 17-18 december 1921, 30-31 december 1921.

II. Stor skadegörelse:

6-7 november 1872, 22-23 oktober 1948.

III. Måttlig skadegörelse:

27-28 november 1942.

IV. Liten eller ingen skadegörelse:

24 november 1919, 27-30 januari 1920, 23-24 januari 1921, 21 december 1921, 19-20 februari 1943, 8 september 1944, 26 april 1947, 18 september 1948, 9 november 1948, 31 december 1948, 15 januari 1949.

Även stormar med vindhastigheter lägre än 30 m/s och vindstyrkor mindre än 12 Beaufort kan orsaka skadegörelse. Detta gäller särskilt om vinden är byig eller om snö faller samtidigt med den hårda vinden. År 1921 var det den 18 januari snöstorm (16 mm nederbörd). Denna orsakade relativt stor skada på telefonnätet med många trådbrott och stolpras. Högsta medelvindhastighet vid Vinga var emellertid endast 23 m/s. Under den våldsamma stormfloden i december 1914 hade Vinga inte mer än 24 m/s. Den andra septemberstormen (den 29:e) 1969 nådde vid Vinga upp till 29 m/s, men trots detta orsakades en del nya skador, t ex lossnade takplåtar på stadens nya polishus och på Vasakyrkans torn.

Frekvensen av stormar med stor skadegörelse

Under de 115 åren sedan 1863 tycks 6-8 riktigt svåra stormar (orkaner) ha förekommit i Göteborgsområdet. Detta ger en genomsnittlig återkomstperiod på 15-20 år. Vindhastigheten vid dessa

tillfällen har varit 31 m/s eller mer enligt tillgängliga uppgifter.

Ett annat sätt att undersöka återkomstperioden för extrema vindhastigheter är att göra en extremvärdesanalys efter den metod som utvecklats av Fischer & Tippett och Gumbel, vilket Shellard (1958) genomfört för de Brittiska öarna. Metoden används, om än i något annorlunda formell dräkt, ofta i hydrologiska och fluvialmorfologiska undersökningar (t ex Axelsson 1967).

I en tidsserie, omfattande n år rangordnas högsta vindhastighet per år från lägsta till högsta värde. Sannolikheten (p) för att ett visst rangnummer (m) d v s vindhastighet, inte skall överskridas beräknas till

$$p = \frac{m}{n + 1}$$

Återkomstperioden (T) för en viss vindhastighet blir

$$T = \frac{1}{1 - p}$$

De årliga extremvärdena plottas efter sin sannolikhet i ett diagram, där ordinatan är linjärt graderad i m/s och abskissan är graderad efter Gumbels sannolikhetsfördelning. I linjär skala kan denna fördelning (y) uttryckas som

$$y = -{}^{e}\log\left(-{}^{e}\log p \right)$$

Om den observerade extremvärdesfördelningen följer Gumbels teori bildar den en rät linje i diagrammet.

För perioderna 1921-39 och 1950-76, då Vinga varit utrustad med vindmätare, har extremvärdesanalys enligt Gumbel utförts (fig 3.3). Medelvärdet av årlig maximihastighet är 27 resp 25 m/s. Enligt regressionslinjerna för sambandet mellan vindhastighet och y blir för 1921-39 vindhastigheten med en återkomstperiod på 20 år knappt 36 m/s, för 1950-76 31 m/s och för båda perioderna sammanslagna knappt 33 m/s. För återkomstperioden 50 år blir maximala medelvindhastigheterna knappt 38 m/s, drygt 33 m/s resp drygt 35 m/s.

I vad mån skillnaderna mellan de olika perioderna beror på vindmätartyp, slumpen (de relativt korta tidsserierna) eller indikerar en klimatändring kan inte avgöras utan en jämförelse med ett antal andra stationer. De vindmätartyper som användes 1921-39 kan förmodas ge högre värden än de som använts sedan 1950. Av skadeverkningarna att döma hade emellertid den första tidsperioden hårdare vindar. Som exempel på betydelsen av tidsseriens längd kan anföras att räknat på tiden 1950-68 har vindhastigheten 31 m/s återkomsttiden 75 år och räknat på tiden 1950-76 blir den 20 år.

Vindhastigheten för en viss återkomstperiod vid Vinga ligger högre än de värden Shellard (1958) anger i motsvarande kustlägen på

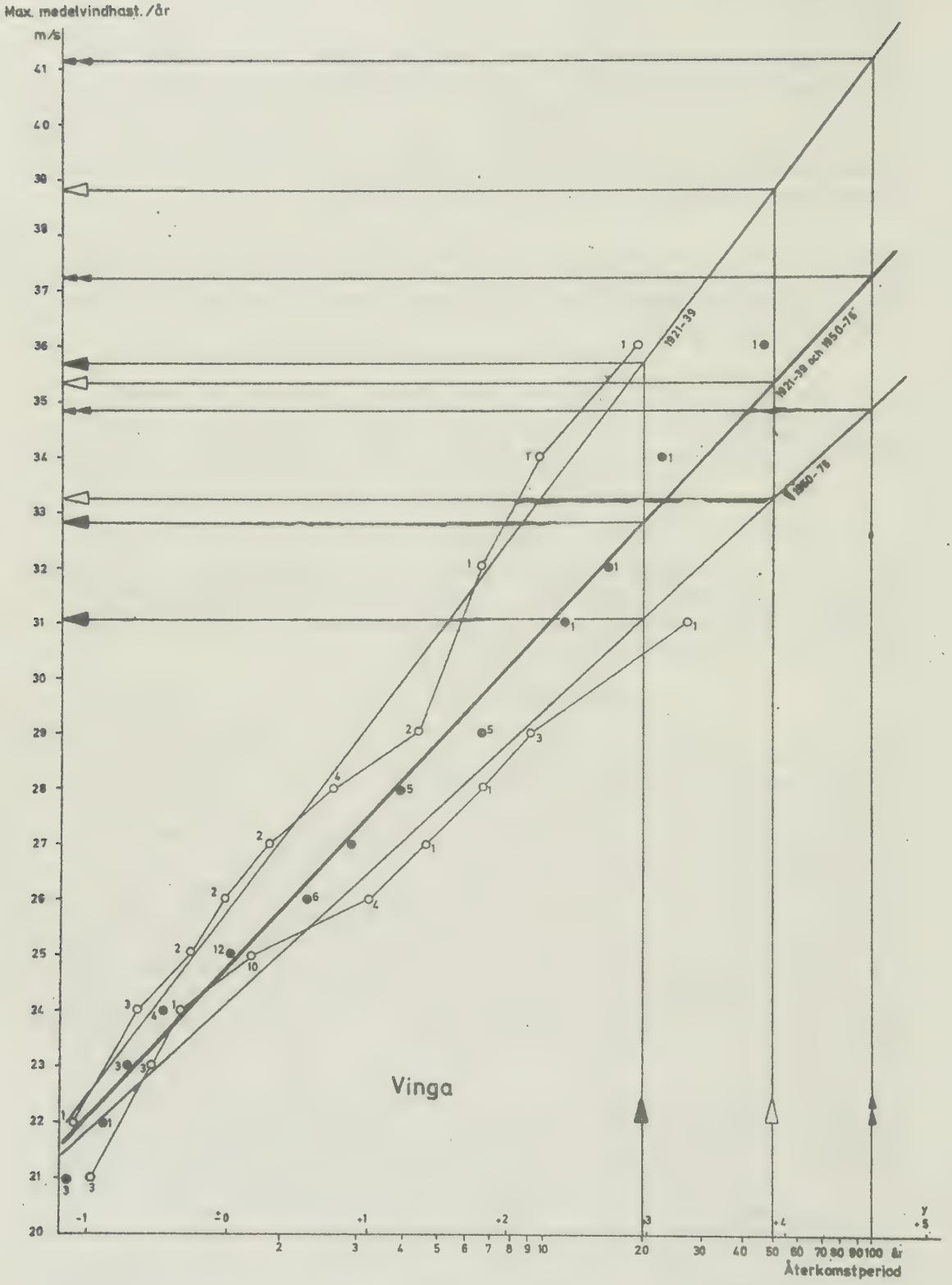


Fig 3.3 Återkomsttid för årlig maximal medelvindhastighet beräknad för perioderna 1921-39 och 1950-76 samt för båda perioderna tillsamman. Siffrorna intill cirklarna anger antalet observationer.

Return period för yearly maximum average wind speed during 10 minutes calculated for 1921-39 and 1950-76 and both periods together. The numbers at the circles indicate the number of observations.

de Brittiska öarna. Orsaken till detta bör vara att i Sverige beräknas medelhastigheten med en mättid på 10 minuter medan man i England och på Irland använder sig av 1 timmes mättid.

Ser man närmare på de observerade fördelningarna för 1921-39 och 1950-76 bildar båda två bågar vardera med ett 'knä' (markerat med en pil i figuren) vid 26 resp 29 m/s. Detta tyder på två saker. För det första kan vardera tidsserien betraktas bestå av två delpopulationer åtskilda av 'knäet' - beroende på ändringar av vindmätarna eller på förekomsten av en storm- och en orkanpopulation, vilket skulle tyda på någon typskillnad mellan de mellanbreddscykloner som ger storm och de som ger orkan. För det andra bildar de observerade fördelningarna inte en rät linje i diagrammet - även om korrelationskoefficienterna är så höga som 0,99 resp 0,98 - och satisfierar således inte Gumbels teori. De erhållna värdena bör således tolkas med försiktighet.

Både frekvensen av stormar med stor skadegörelse och extremvärdesanalysen visar att oväder av den storleksordning som stormen den 22 september 1969 har en återkomstperiod på 20 år eller mindre. Den var således knappast någon unik engångsföreteelse utan ett normalt, om än ovanligt, inslag i Göteborgs vindklimat.

Mätningar under stormen 22 september 1969

Under septemberstormen mätte jag med vindvägmätare upp medelvindhastigheten i några av de mätpunkter, som jag tidigare utnyttjat för min trebetygsuppsats (Holmer 1969). Mättiden har endast för mätpunkten i Slottsskogen varit 6 minuter medan den i övriga mätpunkter endast varit 3 minuter. I fig 3.4.c redovisas de uppmätta vindhastigheterna.

Under stormens intensivaste skede hade den öppna platsen i Slottsskogen mellan 10 och 12 m/s medan vindhastigheten mellan byggnaderna - slutna kvarter av medelhöga stenhus och av landshövdingetyp - låg mellan 3 och 7 m/s. På eftermiddagen sjönk vindhastigheten långsamt. Slottsskogen hade då ca 10 m/s och bebyggelsen 2-4 m/s. Med tanke på den samtidigt pågående omfattande skadegörelsen kan de uppmätta värdena förefalla låga. De under stormdagen uppmätta vindhastigheterna ligger emellertid påfallande väl samlade kring de linjer som kan extrapoleras från de tidigare för trebetygsuppsatsen uppmätta värdena vid lägre basvindhastigheter (fig 3.5).

Extrapoleras sambandet för medelhög sluten bebyggelse (mS) resp landshövdingebebyggelse (lhS) i andra delar av Göteborg till basvindhastigheten 25 m/s vid Torslanda erhålles 6 m/s resp 5 m/s (fig 9.8.c), vilket är något högre värden än de under stormen uppmätta. Eftersom vinden under stormen kom från V bör dock läget i en dal i nord-syd kunna ge någon läeffekt. Detta gäller särskilt husen vid Alvhemsgatan och Olivedalsgatan, vilka ligger närmast den västra dalsidan.

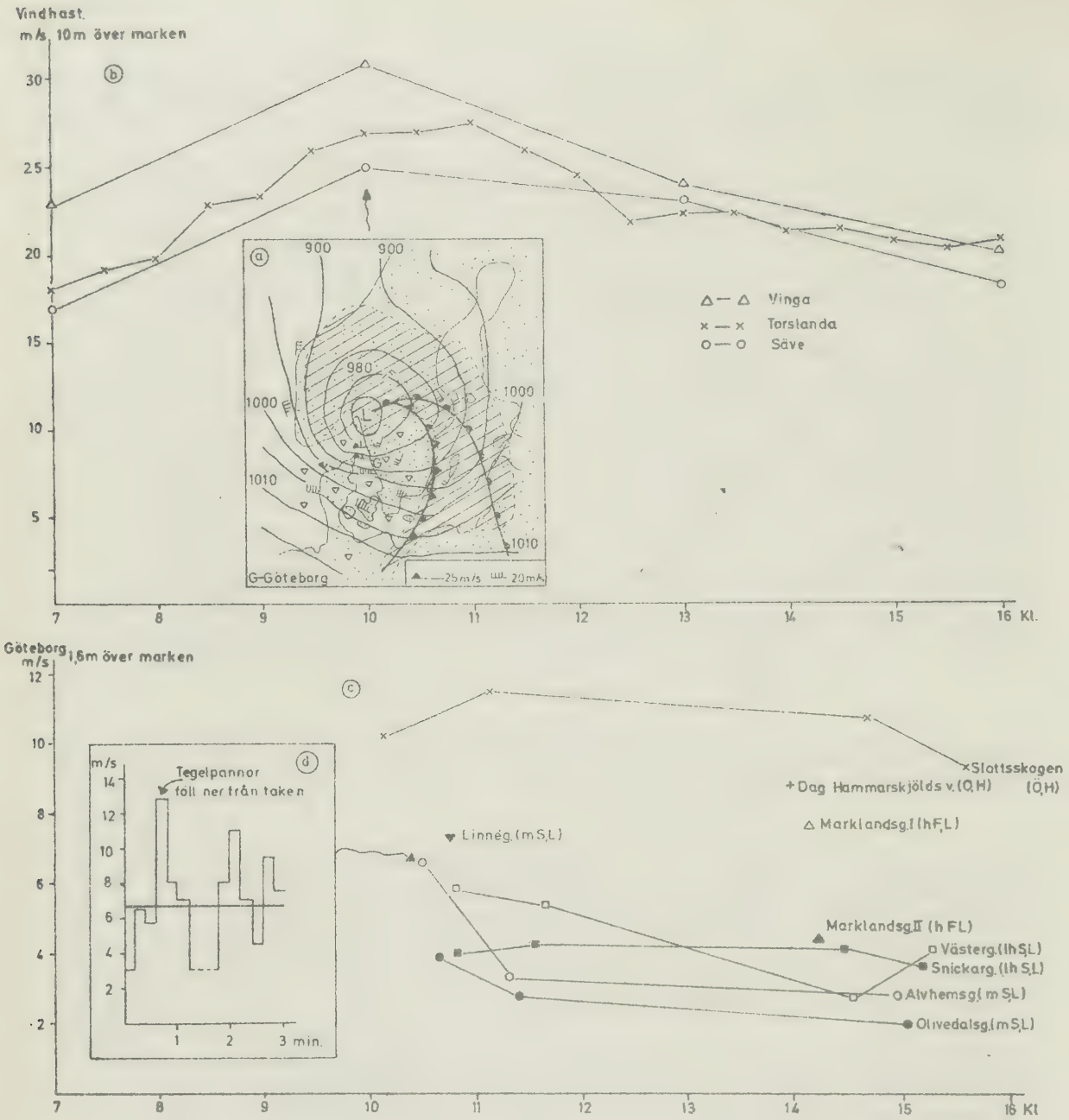


Fig 3.4 Stormen den 22 september 1969
a/ synoptisk väderkarta kl 10 (efter Taesler 1971)
b/ vindhastigheter från väderstationer (10 m)
c/ vindhastigheter uppmätta i bebyggelsen (1,6 m)
d/ en extrem vindstöt registrerad som medelvärde under ett tiosekundersintervall

The storm on September 22, 1969
a/ synoptic weather map 10 hours MET
b/ wind speeds at weather stations (10 m)
c/ wind speeds between buildings in Göteborg (1,6 m)
d/ an extreme gust recorded as average wind speed during ten seconds

Linnégatan, Alvhemsgatan, Olivedalsgatan - femvånings sluten kvartersbebyggelse (five-storey buildings in closed blocks), Västergatan, Snickargatan - trevånings sluten kvartersbebyggelse (three-storey buildings in closed blocks), Marklandsgatan - åttavånings husblock (eight-storey slab), Dag Hammarskjölds väg - lågt belägen öppen plats (open place in a valley), Slottsskogen - högt belägen öppen plats (open place at a hill crest)

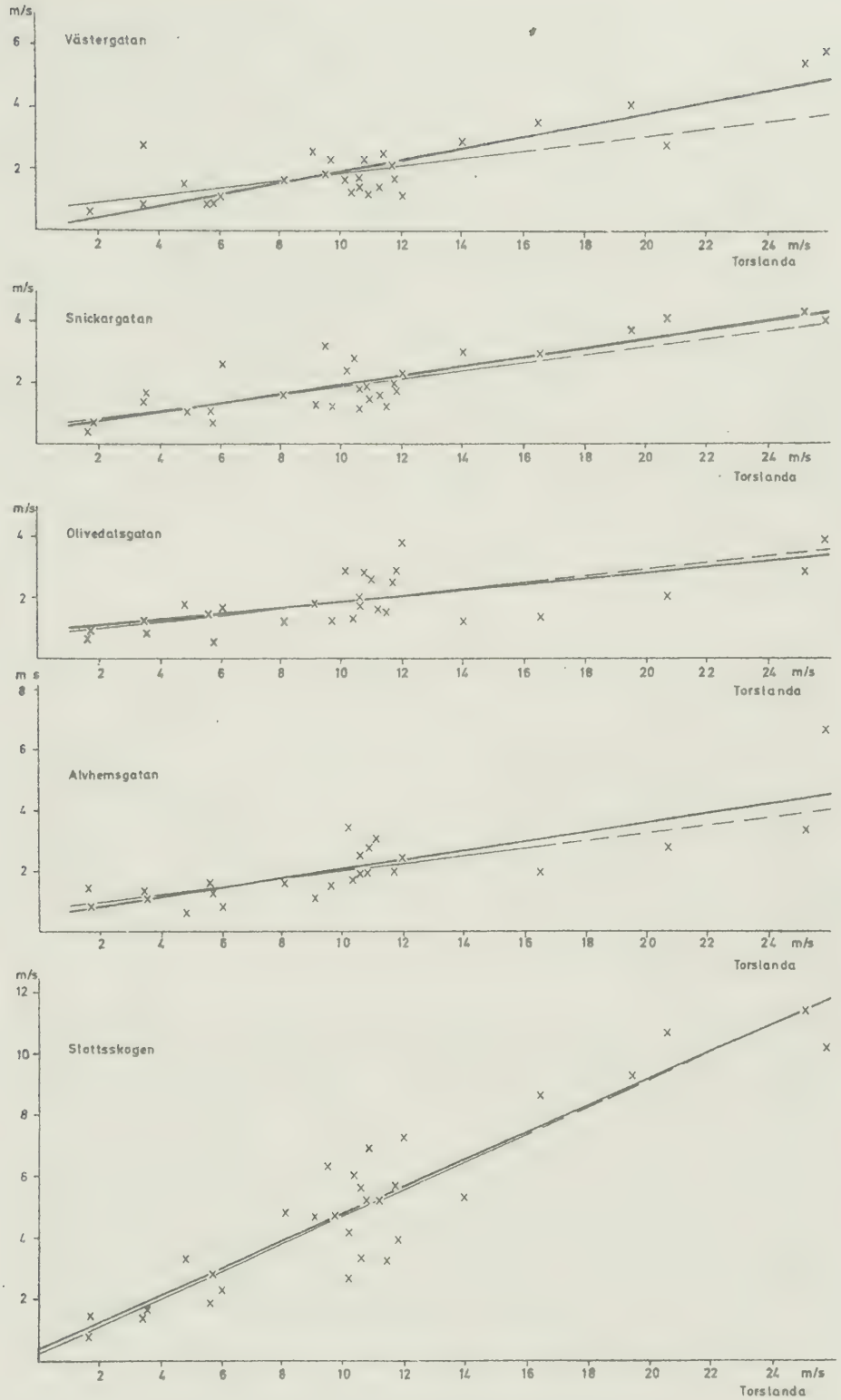


Fig 3.5 Samband mellan basvinden vid Torslanda och medelhastigheten i några mätpunkter i bebyggelsen. I den streckade tunna linjen ingår ej värdena från septemberstormen, vilket de gör i den heldragna tjockare linjen.

Co-variation between wind speed at Torslanda airport and wind speeds between buildings in Göteborg. The values recorded during the storm on September 22, 1969 are included in the thick but not in the thin line.

I vindstötarna uppnåddes självfallet betydligt högre vindhastigheter. Med den använda mätmetoden erhöll jag medelvärde av vindhastigheten för intervall om 10 sekunder. Högsta värde i Slottsskogen var 17 m/s och i bebyggelsen 13 m/s. Vid det senare tillfället rasade en mängd tegelpannor ned från taket några få meter från mätplatsen (fig 3.4.d). Dessa vindstötar med 10 sekunders varaktighet kan beräknas motsvara 25 m/s med varaktigheten 1 sekund (fig 8.2).

I samband med stormen den 1 november 1969, vilken orsakade svåra skador i östra Svealand, men som vid Vinga endast uppnådde 21 m/s, utförde jag några mätningar med en byvindmätare av skålkorstyp. Vindstötar på upp till 30-32 m/s observerades då i Slottsskogen och upp till 15 m/s i bebyggelsen. Slottsskogsvärdena förefaller väl höga. De stora skadeverkningarna som denna storm medförde i östra delen av landet tillskrivs dock den ovanligt stora byigheten.

4. METODIK VID UNDERSÖKNINGAR AV VINDRIKTNINGAR I BEBYGGELSEN

Mina undersökningar av vindriktningarna i bebyggda områden kan delas upp i två huvudgrupper. Den första omfattar direkta observationer av vindriktningarna utförda av observationslag och den andra karteringar av vindspår, huvudsakligen sådana som vinden bildat i samband med snöfall.

Direkta observationer av vindriktningar

Observatörslag på upp till tolv personer utförde, huvudsakligen under första halvåret 1972, observationer av vindriktningar (och vindhastighet) i olika delar av Göteborg. Närmare beskrivning av delområdena och mätpunkterna ges i kapitel 7 (fig 7.1 och tabell 7.1).

Vindriktningarna har observerats med hjälp av en ca 30 cm lång tråd fäst på ovansidan av vindmätaren. I varje mätpunkt uppskattades i 6 minuters tid vindriktningarna var tionde (ibland var femte) sekund i åtta klasser i förhållande till gatans eller husens längdutsträckning. Varje klass omfattar en sektor på 45°. De snabba riktningsändringar som vanligen karakteriserar vinden mellan husen har medfört att jag valt att inte ange riktningarna i förhållande till huvudväderstrecken utan i förhållande till husens längdutsträckning. Detta sätt att klassindela vindriktningarna gör det lättare och säkrare att snabbt uppskatta den momentana vindriktningen.

Vindrosor har konstruerats för de 36 eller 72 observerade värdena i varje mätpunkt. Om mätningen gjordes med femsekundersintervall har antalen halverats för att inte rosens storlek skall ändras. Totalt har något mindre än 2000 vindrosor konstruerats.

De direkta observationerna ger en tämligen grov uppskattning av medelvindriktningen i en mätpunkt. I gengäld har de den fördelen att de ger inblick i vindens kortvariga riktningsändringar - om vinden har stabil riktning eller om kraftig turbulens ger många och snabba vindriktningsändringar. I det senare fallet blir bestämningen av medelvindriktningen mycket osäker.

Undersökta vindspårstyper

De flesta av mina vindspårskarteringar har utförts i samband med snöfall. Enstaka undersökningar har dessutom gjorts av växtdeformation, dimfrost samt kalblåsning och drivbildning av höstlöv.

Växtdeformationen har redan diskuterats i kapitel 1. Här skall endast nämnas att i Göteborg kan träddeformationen på krön i ut-

satta lägen vara betydande på både löv- och barrträd. I bebyggelsen är både stamlutning, förekomsten av förkrympta grenar på lovartsidan och snedklippning av kronorna oftast liten men ändå tydlig. Deformationen är redan 3 - 4 år efter att ett område bebyggts fullt märkbar.

V i n d s p å r i s n ö (o c h d i m f r o s t)

Utformningen av vindspår i snö bestäms av vindens hastighet, riktning och variationer samt av snöns egenskaper. Vissa vindspår bildas endast i samband med snöfallet, medan andra kan bildas såväl vid snöfallet som vid senare omlagring orsakad av hög vindhastighet.

De vindspår i snö som jag undersökt och använt mig av för kartering av vinden i markplanet är

a) vindkanaler kring träd och stolpar
b) avsättning av klabbsnö (och dimfrost) på lovartsidan av trädstammar och stolpar
c) striering på snöytor

a. Vindkanaler

Till begreppet vindkanal har jag valt att föra alla vindspår som är bildade i snön kring träd och stolpar. Morfologiskt sett finns det avsevärda olikheter i utformningen. Eftersom jag anser att genesen i stort sett är densamma - virvelbildning mot och kring stammen (fig 4.1.a) - har jag valt att föra samman alla former bildade vid marken kring stolpar och trädstammar under en rubrik. På läsidan tycks virvelbildningen kunna ske på två sätt - antingen som periodisk virvelavlösning av kármántyp (fig 4.1.b) eller som två mot varandra roterande längsgående virvlar (fig 4.1.c).

Vid mina karteringar har jag ansett mig kunna observera en utvecklingsserie från former bildade vid mycket låga vindhastigheter och upp till välutbildade läroboksmässiga vindkanaler som skapats vid relativt höga vindhastigheter.

Vid lägsta vindhastighet avlagras snön direkt mot roten på lovartsidan genom luftens uppbromsning och nedåtgående rörelse (fig 4.1.d). På läsidan bildas en sänka med ingen eller ringa mängd snö, därför att vinden ej haft kraft nog att föra in snöpartiklar bakom stammen. Vid något högre vindhastighet (fig 4.1.e) avlagras fortfarande snö mot roten. Men på sidorna blir vinden nu så stark att den kan föra med sig snöpartiklar in bakom stammen, så att det bildas fördjupningar vid sidorna och en tunn vass rygg på något avstånd bakom stammen. Då vindhastigheten ökar än mer (fig 4.1.f), kan någon snö inte längre stanna kvar vid sidorna. På framsidan kan det möjligen finnas kvar en liten snöfläck. På baksidan når snön högst alldeles intill stammen och kammen är nu avjämnad, vilket troligtvis beror på att 'kármán-virvlarna' i virvelgatan bakom

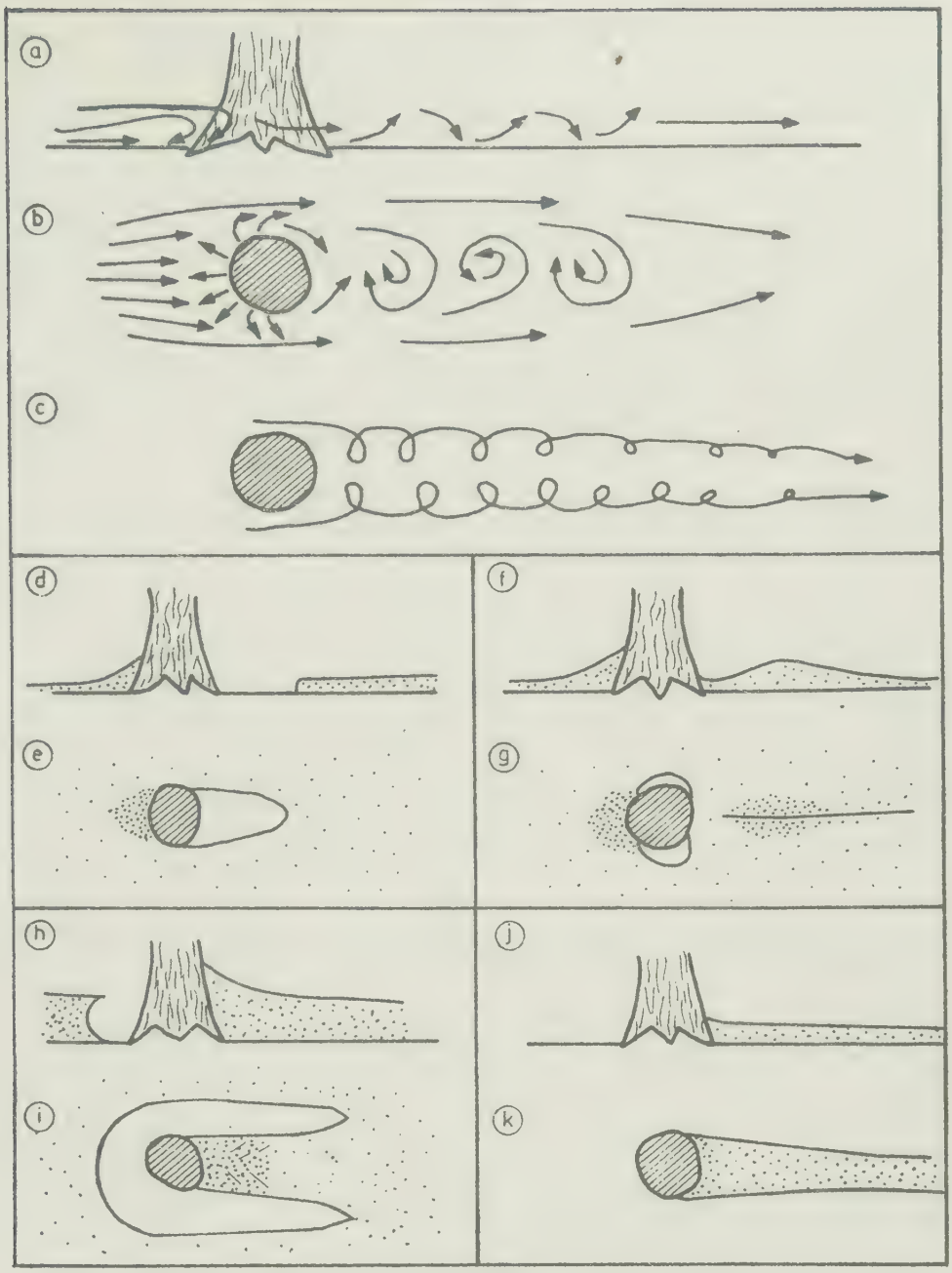


Fig 4.1 Vindkanaler och former med likartat ursprung
a/ virvelbildningen sedd från sidan
b/ karman-virvlar, sedda uppifrån
c/ parallella motroterande spiraler
d/ snöanhopning på lovartsidan, kal yta i lä
e/ snöanhopning på lovartsidan, tunn rygg i lä
f/ urblåsning på lovartsidan, driva på läsidan
g/ långsmal driva på läsidan, i övrigt kalblåst

Wind channels and forms of similar origin
a/ the vortices
b/ karman-vortices, seen from above
c/ parallel spirals, rotating against each other
d/ snow accumulation on windward side, bare area in lee
e/ snow accumulation on windward side, thin ridge in lee
f/ clear-swept area on windward side, drift in lee
g/ elongated drift on lee side, otherwise clear-swept

stammen slår hårt fram och tillbaka. Dimensionerna har ökat och vindkanalen har fått en skarp yttre begränsningslinje
Inte förrän i detta stadium torde vindhastigheten vara så stor att vindkanalen kan bildas även efter det att snöfallet upphört.

Vid låga vindhastigheter anger således ansamlingen av snö lovartsidan av stammen. Har vindhastigheten varit så hög att det bildats en välutbildad vindkanal anger ansamlingen av snö läsidan av stammen. Det är emellertid ingen svårighet att skilja formerna från varandra. Låghastighetsformen karakteriseras av mjuka former utan skarpa begränsningslinjer. Höghastighetsformen, som visserligen kan ha mjukt avrundad form på läsidan, utmärks av det kalblåsta partiet på lovartsidan och den skarpa begränsningslinjen. Vid högre vindhastigheter frampreparerars ofta något hårdare skikt så att det bildas små skavler på lädrivans sidor. Vid högre vindhastigheter slås oftast snöflingorna sönder till små korn, vilket ger en mer kompakt avsättning än vid låga vindhastigheter, då snöytan kan vara något luddig.

Om vinden kastar fram och tillbaka i två riktningar kan det utvecklas former med två ryggar som löper ut från stammen och mellan dessa finns det urblåsta fördjupningar. Ryggarna utvisar de två läriktningarna. Om vinden är mycket orolig, kan det bildas cirkulära vindkanaler vilka således saknar bestämd orientering. På grund av att vindriktningen växlar så pass mycket för denna flerriktningsform kan det inte utbildas några skarpa begränsningslinjer utan formerna är ganska avrundade.

Cornish (1902, s 164) beskriver från Canada vindkanaler både vid träd och mindre hus. Han anser att friblåsningen nära hörnen 'is something like an open spiral'.

I Sarek har Hamberg observerat vindkanaler både kring stenar (1907, s 9) och bergmassiv (1907, s 53). De sistnämnda vindkanalerna var 100 m breda och 30-40 m djupa. Cammer (1905, s 127) har beskrivit liknande former i Alperna, men ansåg dem vara "smältkanaler", bildade av solstrålning och varmluft. Lokalbefolkningen kallade dem vindkanaler, vilket också Hamberg (1907, s 55) ansåg vara den korrekta benämningen.

I fall då vindstyrkan blivit så hög att snön ej längre förmår ligga kvar på öppna ytor kan man observera, hur snö ansamlas i långa smala strängar i lä bakom uppstickande föremål (fig 4.1.g). Långsmala strängar, men av betydligt större dimensioner, kan man observera på flygbilder i lä bakom låga öar (Lindqvist, 1973, fig 15). Strängarna skapas antagligen av långsträckta, parallella, mot varandra roterande spiralformiga virvlar (Allen 1970, s 69). Bakom bilar med dubbla avgasrör kan man observera de roterande spiralerna.

b. Avsättningar på stammarnas lovartsida (lovartstrimmor)

Detta är den vindspårstyp jag mestadels använt vid karteringarna. Det är sannolikt även den mest tillförlitliga, då den är mycket lätt att observera. Bergeron (1968, s 9) använde sig av denna in-

dikator i sina studier i samband med "Projekt Pluvius".

Om snön faller i stora blöta flingor, har dessa så stor tröghet att de ej kan följa luftströmmen, då den böjer av kring stammen. Flingorna träffar i stället stammen rakt på lovartsidan. Oftast finner man klabbsnöavsättningar på trädstammar, eftersom barkens skrovligheter ger fäste för flingorna. På stolpar av metall förekommer de mer frekvent om de varit något underkylda före snöfallet så att de våta flingorna fryser fast. Klabbsnöavsättningen är oftast en tjock, väl avgränsad och inte särskilt bred remsa som distinkt pekar ut vindriktningen. Är vinden växlande, kan det ibland uppstå bredare och diffusa avsättningar. Ett tjockare parti kan ange huvudriktningen men så behöver inte alltid vara fallet.

Observationerna av klabbsnö nära roten anger inte alltid samma vindriktning som klabbsnö avsatt högre upp på stammen. Det är halvmetern närmast marken som mycket kraftiga vindvridningar kan uppstå. Jag har observerat vridningar ända upp till nittio grader. Detta är emellertid undantag, värden på några tiotal grader är vanligare. Ofta kan man knyta dessa avvikelser till den lokala detaljtopografin, t ex ett närliggande stenblock. Men avvikelser nära marken tycks också kunna skapas endast genom att trädet växer på sluttande mark. Orsaken till avvikelsen torde vara att snön närmast marken dras utför sluttningen av tyngdkraften. Högre upp är vindhastigheten högre, vilket medför en relativt sett mindre påverkan.

Underkylda vätande dimdroppar ger avsättningar av dimfrost på lovartsidorna (Geiger 1961, s 119). Detta har som tidigare nämnts i kapitel 1 utnyttjats av Okita (refererad av Munn 1970, s 18), som också tog avsättningens tjocklek som mått på vindhastigheten. På Spetsbergen fann Schytt (1964, s 251) att dimfrosttjockleken ökade linjärt med den logaritmerade höjden över marken, vilket innebär att vindhastigheten var direkt proportionell mot avsättningens tjocklek.

Dimfrost förekommer inte så ofta i Göteborg. Men under en dimmig högtryckssituation i januari 1973 förekom dimfrost vid flera tillfällen. Normalt är dimfrosten avsatt i lager som är någon eller några millimeter tjocka. Vid ett tillfälle nådde emellertid dimfrostkammarna en storlek av 2,5 - 3 cm (fig 4.2). Detta torde för Västkusten och Göteborg vara extremt. Jämfört med de dimfrostavlagringar på 1,5 m som Hamberg (1907, s 23) rapporterat från Pårteobservatoriet i Sarek är emellertid göteborgsobservationerna obetydliga.

c. Striering av snöytor

Denna marknära indikator har endast använts vid ett karteringstillfälle (11.3.71) och även då endast i ringa omfattning. Att så varit fallet beror dels på att strieringen inte är särskilt lätt att urskilja, dels att det sannolikt fordras ganska hårda vindar och kall, torr snö för att skapa den (så pass hårda att snödrev uppstår). Liljequist (1957, s 193) anger att vid Maud-

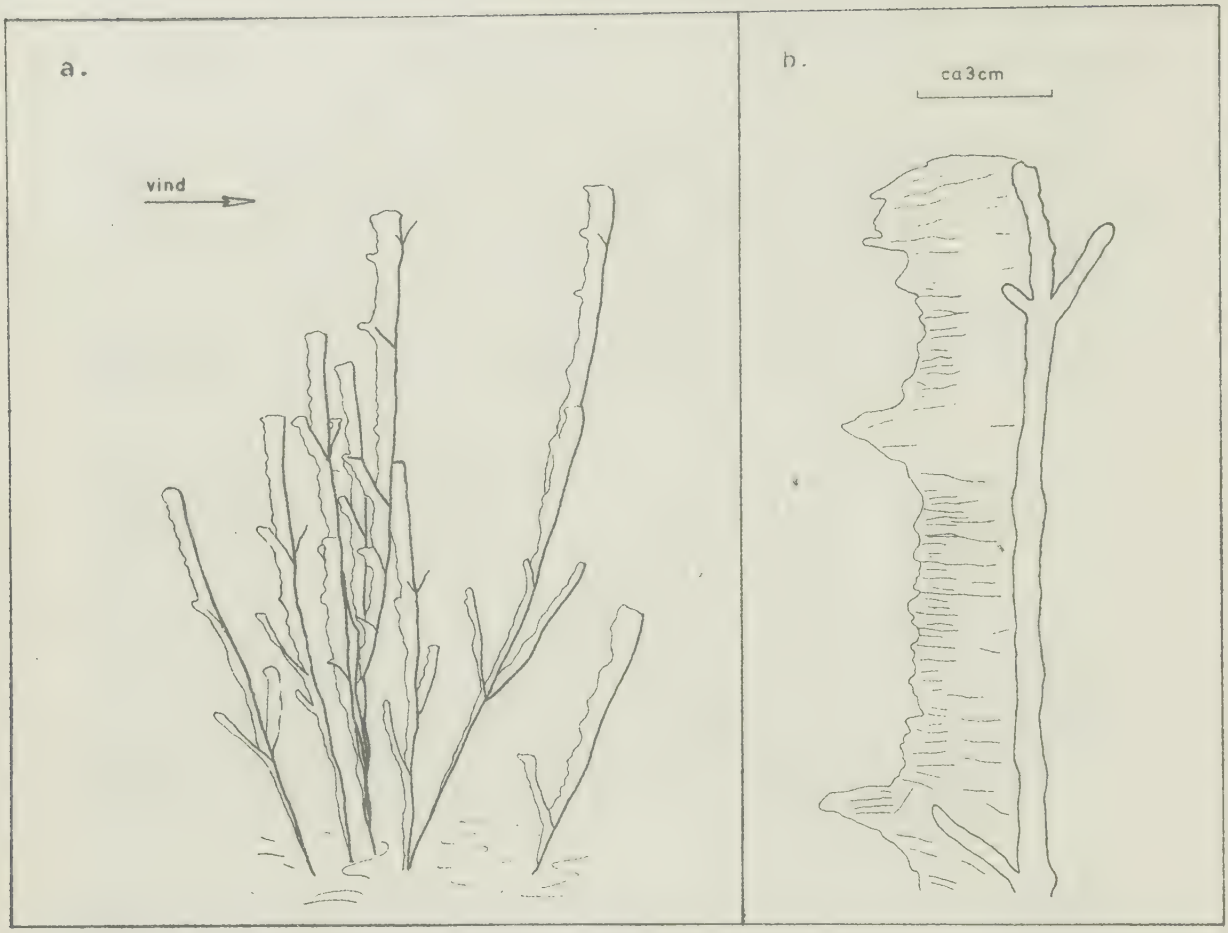


Fig 4.2 Dimfrost (efter foto)
a) avsättning på en buske. Observera den uppåt ökande bredden på dimfrostkammen. b) detalj av dimfrostavsättningen.

Fog deposits (after a photo)
a) deposit on a bush (the arrow indicates the wind direction). Note that the thickness of the deposits increases with height above ground level. b) a detail of the fog deposit.

heim i Antarktis fordrades vindar av 8-9 m/s på 10 m-nivån för att starta snödrev, i ett senare arbete anges 5-7 m/s (Liljequist 1962, s 200).

Strieringen består av millimeterhöga ryggar eller strängar orienterade i vindriktningen. Det är inte möjligt att avgöra från vilken av de båda alternativa vindriktningarna som vinden kommit. För att klara ut detta måste man lita till andra vindspår. En fördel med strieringen är att den uppträder på öppna ytor, där det kan vara svårt att finna några andra vindspår i tillräcklig mängd.

Den ringa storleken gör det svårt att studera strieringen närmare och komma underfund med hur den bildats. Den kan tänkas vara ackumulationsformer i lä av något uppstickande snökorn eller erosionsrester bakom något hårdare snökorn. I vissa fall kan man tänka sig att snön direkt avsatts i strimmor, medan den transporteras i vindriktningen. Ovannämnda faktorer kan naturligtvis samverka till att strieringen uppkommer. Strieringen är troligen analog med den strimmighet som geologer observerat i sandstenar - tidigast av Sorby på 1850-talet (Allen 1964, s 89). Den benämnes 'graining in the line of the current', 'parting lineation' eller 'primary current lineation'.

Allen (1964) har undersökt strimmorna i sandstenar och funnit att strimmorna är 3-30 cm långa, 1 mm höga och 2-5 mm breda. Sandkornen i ryggarna uppvisade en symmetrisk men bimodal riktningsfördelning med maxima som avvek ca 15° från ryggens längdriktning. Sandkornen var också något större i ryggarna.

Vid strömningsförsök i ränna konstaterade Allen (1964, s 103), att för att strimmor skall uppstå fordras sandtransport och att vattnets rörelse är nästan stråkande (Froudes tal > 0,75). Det har även visat sig att avståndet mellan strimmorna är omvänt beroende av strömningshastigheten (Allen 1970, s 69). Försöken visade också att sanden rörde sig i band med strimmor av klart vatten emellan (Allen 1964, s 103). Sådan materialtransport kan även observeras i swashzonen och i strömmande vatten. Liknande transport tycks även ske av snö. När snö blåser över en vägbana, får man ett bestämt intryck av att snön är samlad till vissa stråk. Allen (1964, s 101) nämner också dessa iakttagelser. Man måste emellertid vara medveten om att synintrycket av snabbt förbipasserande partiklar ger en strimmighet som inte alls behöver existera.

Orsaken till att strimmorna bildas anser Allen (1970, s 69) vara, att det bildas en transversell instabilitet i strömningen. Denna medför att strömningen delas upp i längsgående, parallella, mot varandra roterande spiralformiga virvlar (fig 4.3). Denna typ av secondary flow kallas efter sina upptäckare Taylor-Görtler-strömning. Om strömhastigheten är så stor att mycket sand transporteras, kan dessa parallella spiraler lätt observeras vid rännförsök och på sandstränder.

Bedömning av vindspårsriktningar

Vindspår ger till skillnad från de direkta observationerna vanligen ringa information om vindens tidsvariationer. I stället ger de medelvindriktningen för perioder som varierar från mindre än en timme och till mer än hundra år. De vindspår som är bildade under lång tid (t ex vinddeformerade träd) erbjuder problem vid tolkningen eftersom den allmänna vindriktningen över området har varierat. Vinddeformationen i olika delar av området är därför förmodligen skapad vid olika allmänna strömningsriktningar, beroende på vilka lägen som ger skydd resp utsatthet för vinden. Problemet kan finnas även vid analys av vindspår som bildats un-

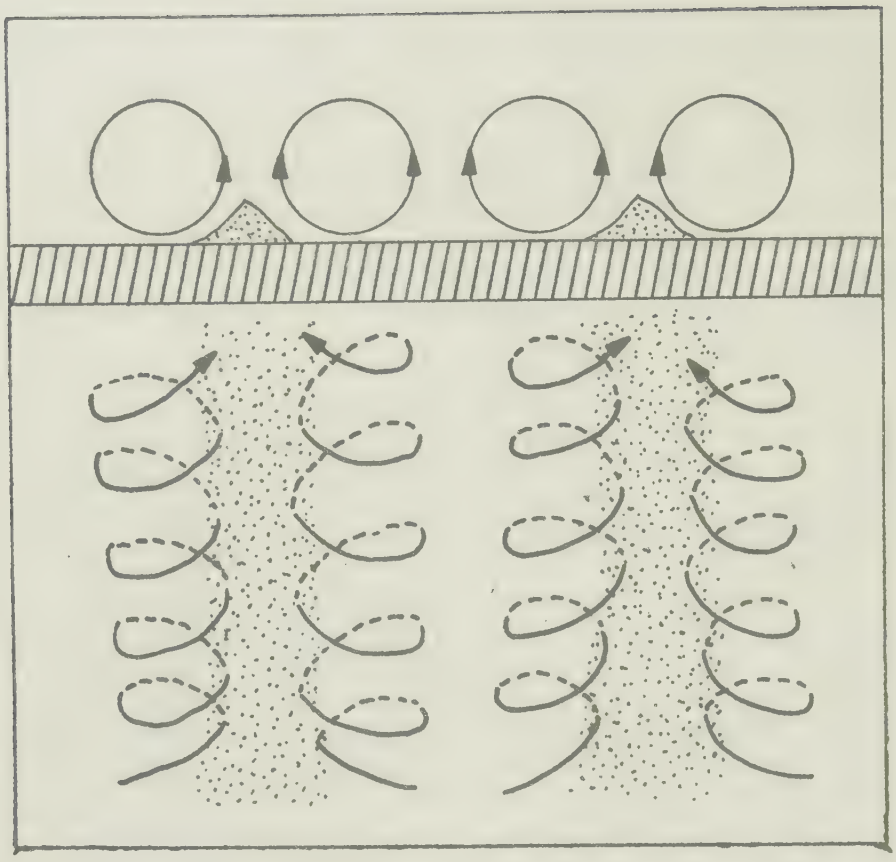


Fig 4.3 Motroterande parallella virvlar (Taylor-Görtler-virvlar) ger ansamling av partiklar i strängar.

Parallel spiral vortices create ribbons of particles.

der betydligt kortare tid (t ex snöspår). Jämförelser med vindriktningar som avlästs på en referensstation under den tid vindspåren bildats visar, om detta tolkningsproblem behöver beaktas.

Förutom att vindspåren visar de genomsnittliga vindriktningarna gör deras ofta rika förekomst att de är lämpliga att utnyttja vid undersökningar av vindriktningarna inom ett område. Dessutom kvarstår vindspår när vinden avtar, vilket ger mer möjlig tid för karteringsarbetet.

Vid all bedömning av vindriktningsspår måste man vara uppmärksam på att de registrerar samverkan mellan vind och det material som indikatorn skapats av. Detta gäller inte minst för de vindspår som är bildade direkt på markytan och som har ringa vertikal utsträckning (t ex vindkanaler och striering). Risken finns att man registrerar och feltolkar en strömning som beror på mikrotopografin eller på att markytan lutar och att strömningsriktningen endast någon halvmeter högre upp kan vara starkt avvikande.

Kartering av vindspår

Fig 4.4 visar de områden där karteringar av vindspår utförts. Sammanlagt har material från 23 karteringar utnyttjats. Flertalet av dessa har utförts i den centrala delen av Göteborg. Dessutom gjordes en kartering i Linköping vid ett besök där.

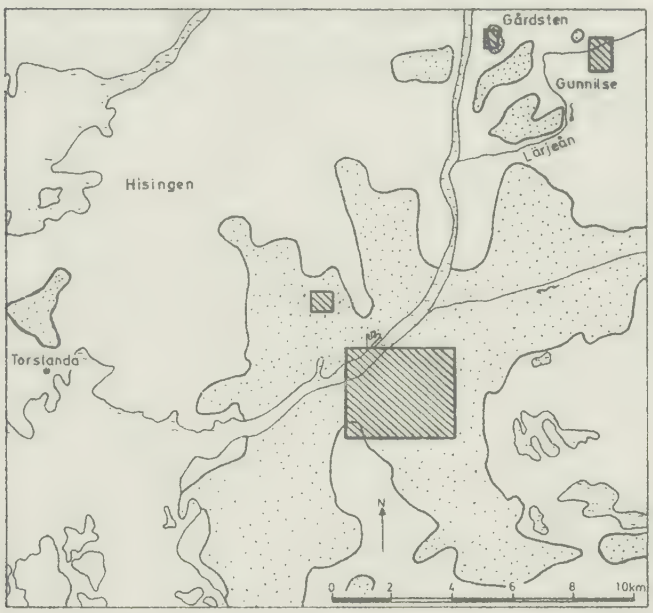


Fig 4.4 Undersökningsområde för vindriktningskarteringar.

Areas where mapping of wind directions have been carried out.

Snöspår

De snöspår jag studerat byggs upp under tider som varierar mellan en timme och upp till ett dygn. Oftast är de entydigt orienterade i en bestämd riktning. Vanligtvis har det dagen efter snöfallet varit gynnsamma betingelser för kartering. Sedan har töväder, trafik och snöskottning omöjliggjort vidare undersökning. På en ort med kyligare vinterklimat än Göteborg borde gynnsamma förhållanden kunna finnas en längre tid, vilket naturligtvis skulle göra det möjligt med mer omfattande karteringar än vad som blivit fallet.

Karteringarna har oftast utförts utan några speciella hjälpmedel. Såväl riktningar som avstånd uppskattades då i relation till närbelägna hus, gångbanor etc. Ibland har stegning använts för avståndsbedömning. Vid bl a de första karteringstillfällena användes kompass för riktningsbestämningarna. De av spårvägen introducerade magnetfälten, järnstaket och liknande medförde emellertid stora fel, vilket gjorde att en noggrann kontroll av kompassnålens nordriktning fordrades för varje enskild observation. Denna tidsödande metod övergavs, eftersom jag bedömde den eventuella precisionsvinsten som obetydlig jäm-

fört med det mindre antal observationer den gav.

Vid ett tillfälle utfördes en mindre kontrollkartering i ett område jag undersökt någon dag tidigare. Avsikten var att se om det skett någon sekundär omfördelning av snön. Om så ej var fallet, kunde jag fortsätta karteringsarbetet. Snöspåren var av typen vindkanaler, bildade vid låga och måttliga vindhastigheter, vilket torde vara den spårtyp som är svårast att bestämma riktningen hos. Riktningarna bestämdes på fem grader när med 400-graders kompass. Resultatet blev att någon omfördelning ej tycktes ha ägt rum. Dessutom gav ommätningarna ett mått på precisionen i riktningsbestämningarna.

Standardavvikelsen har beräknats till ca 6°. Tabell 4.1 visar de uppmätta avvikelserna.

Tabell 4.1 Riktningsavvikelser vid upprepad mätning av vindkanaler

Deviations obtained at re-measuring the direction of wind channels

Avvikelser i nygrader Deviations in centigrades	+10	+5	0	-5	-10
Antal observationer Numbers of observations	3	4	5	6	-

Någon liknande omkartering med skattning av riktningarna har ej utförts, men troligen är precisionen något sämre med denna metod, säg ca 10°. Viktigare än absoluta tal är dock att relationerna mellan vindspåren uppmärksammas. Detta gäller inte minst då vindspåren längs en och samma gata karteras. Intresset är ju då särskilt knutet till förändringar av vindspårens riktning. Detta kan kanske medföra att små förändringar i riktning överskattas något, men det mönster av vindens beteende som karteringen ger ändå är riktigt.

Med tanke på materialets användning och reproduktionsskalan anser jag noggrannheten vara tillfredsställande. Den största noggrannheten torde finnas i de positioner där det finns flera objekt att orientera efter. De mera komplicerade strömningsmönstren uppträder oftast i sådana positioner. Den minsta noggrannheten - särskilt vad gäller lägesbestämningen - finns hos de mera fritt belägna observationspunkterna. Detta torde dock inte ha någon praktisk betydelse.

Vid bedömningen av vindspåren bör man naturligtvis inte förlita sig på enstaka observationer. Ett enskilt vindspår kan ju ha en riktning som ej stämmer med den strömning som karakteriserar ett område. En bil kan t ex ha stått parkerad intill under snöfallet men sedan blivit flyttad. Vid karteringarna har jag sökt undvika

att få med vindspår som kan ha fått sin riktning påverkad av lokala hinder. Att en enskild punkt får felaktig riktning kan ju också bero på ren felkartering.

Andra vindspår

Avsätttningar av dimfrost har karterats vid ett tillfälle med samma metodik som för snöspåren.

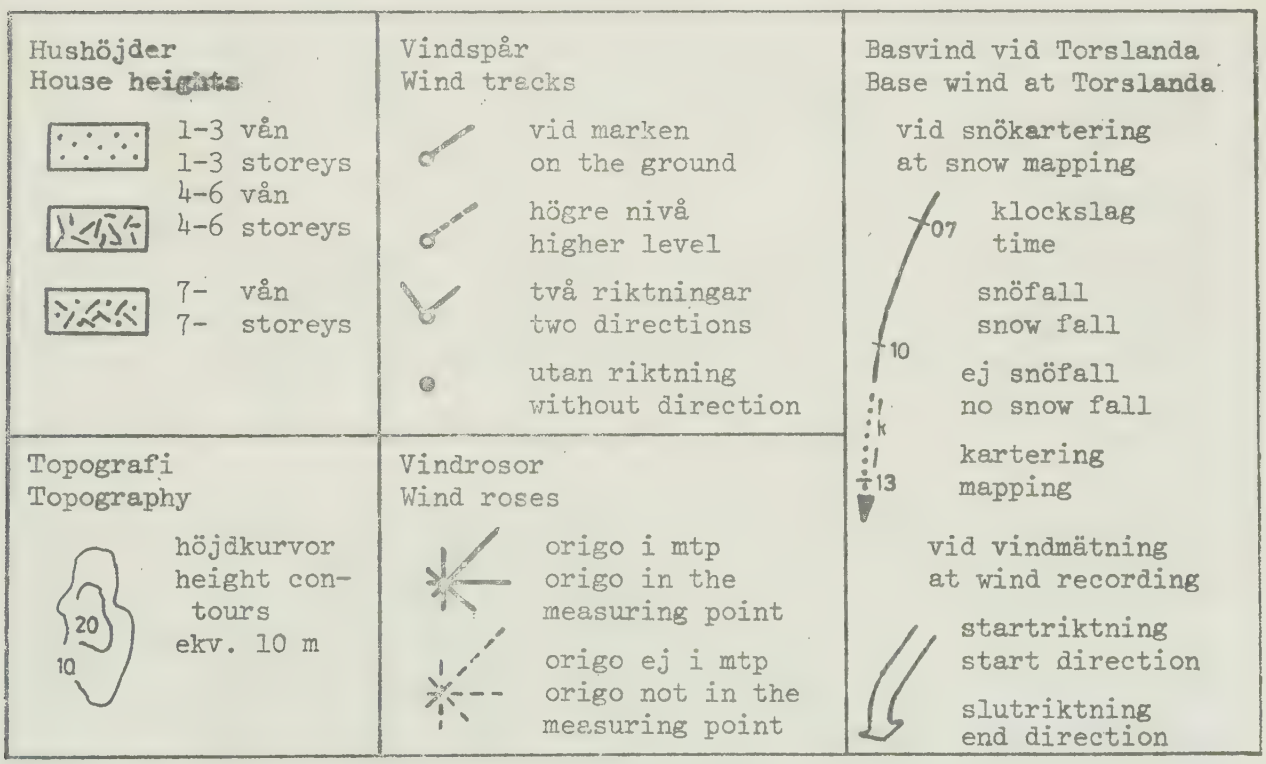
Tre gånger har jag karterat kalblåsningar och drivor av snö eller höstlöv. Även i dessa fall har arbetet utförts med hjälp av underlagskarta och stegning.

Vid karteringen av vinddeformerade träd och buskar har kompass använts för bestämningen av deformationsriktningen. För att få bättre preciserad riktning har ett lod hållits mot och därefter har riktningen från stammen till lodets spets mätts upp.

Teckenförklaring för enskilda karteringar

Som underlag för kartorna har använts "Stadsingenjörskontorets karta över Göteborg" i skala 1:4 000. Bebyggelsen skall på dessa kartor à jour-föras kontinuerligt. De här redovisade kartorna visar den bebyggelse som fanns vid karteringstillfällena.

Tabell 4.2 Några ofta förekommande beteckningar
Some often used symbols



Hushöjder

På kartorna har jag lagt in hushöjderna i tre klasser: 1-3 våningar, 4-6 våningar och 7 eller flera våningar. Denna indelning passar i de flesta fall bra. En tidigare prövad indelning med klassbredden två våningar visade sig dela upp delområden på olika klasser på ett sätt som strider mot det synintryck av lika höjd som erhålles, då man från någon utsiktspunkt ser ut över bebyggelsen. Med den indelningsgrund som har tillämpats blir det oftast så att endast de markant avvikande husen erhåller en avvikande beteckning.

I en del fall har vissa svårigheter uppkommit vid klassningen av hushöjd. Byggnader i sluttningar kan ibland skilja sig påtagligt mellan fram- och baksida eller mellan gavlarna. Våningshöjd är inte heller något enhetligt begrepp, utan det är beroende av tid och plats för byggnadens uppförande. Klassindelningen ger därför inget absolut mått på hushöjderna. Detta anser jag ej heller vara av någon större betydelse för den fortsatta diskussionen. Då det framför allt är relationerna mellan olika byggnader och gatubredder vilka torde vara av betydelse för strömningsfälten, anser jag att den intuitiva uppfattning om hushöjder som våningsbegreppet ger passar bra.

Topografi

Topografin har markerats med höjdkurvor med 10 m ekvidistans. Klassbredden tre våningar för hushöjder kan grovt sett sägas motsvara denna ekvidistans. På underlagskartan, vilken ursprungligen har höjdkurvor med ekvidistansen 2 m, slopas höjdkurvorna vid à jour-föringen av om- och nybyggda områden. Denna avsevärda försämring av den för övrigt goda kartan har gjort, att vissa höjdkurvor fått approximeras från andra kartor och då främst från motsvarande karta över Göteborg från 1923.

Vegetation

Ur vissa synpunkter hade det varit önskvärt, att vegetationen varit inlagd på kartorna. Vindspåren är emellertid mestadels observerade vid träd, och kartbilden skulle bli mycket orolig, om vindspår och vegetationsmarkeringar blandades med varandra.

Vindspår

På kartorna markeras varje enskild observation med en cirkel i observationspunkten och en linje som pekar mot vinden. Man kan således uppfatta tecknat som en pil som flyger med vinden. I de fall då vindspår utan riktning förekommer har detta markerats med en fylld cirkel. De olika typerna av vindspår har ej skilts ut på kartorna, vilket kanske hade varit önskvärt med tanke på den information om vindhastigheten de kunnat ge. I de fall där avvikande vindriktning observerats på ett stycke ovan markytan, har detta markerats med en streckad linje.

Referensvärden

Meteorologiska uppgifter för undersökningstillfällena har dels hämtats från Torslanda flygplats, dels tagits ur SMHIs årsböcker för stationerna Göteborg och Linköping. På kartorna har diagram fällts in över vindförhållandena under snöfallen och fram till dess karteringarna genomförts eller för vinden under mätningstiden. Diagrammen har konstruerats så att vinduppgifterna (medelvärde i knop för tiominutersperioder varje halvtimma med vindriktningar angivna i tiogradersintervall) avsätts som vektorer i följd. För snöspårskarteringarna betecknar heldragen linje snöfall och prickad linje upphåll. Klockslagen har markerats med tvärstreck. Tiden för karteringarna har markerats med ett "k".

Avsikten med detta framställningssätt är att framför allt visa hur den allmänna vindriktningen, i fortsättningen oftast kallad basvind, eventuellt ändrats. Dessutom framhävs de vindriktningar som haft de största vindhastigheterna genom att de får en proportionsvis större längd. Detta anser jag vara av särskild betydelse för vindspårskarteringarna, eftersom de högsta vindhastigheterna kunnat ge den största effekten på vindspårens riktning.

5. VINDRIKTNINGAR INTILL OCH MELLAN BYGGNADER

I detta kapitel diskuteras hur pass reproducerbara vindriktningsobservationerna är, d v s om vindriktningarna mellan husen är likartade vid situationer med samma basvindriktning, vilka vindriktningar som förekommer vid en viss basvindriktning och hur vindriktningen mellan husen ändras när basvindriktningen ändras. På grundval av detta har en tolkningsmodell för vinden mellan husen ställts upp. Tolkningen kan dock kompliceras av att strömningsbilden kan störas och deformeras skenbart av att vindspårens riktning påverkas av det transporterade materialet eller verkligt av att bebyggelsen är ojämnt grupperad.

Vindriktningar i bebyggelsen vid tillfällen med samma basvindriktning

Fig 5.1 visar två snöspårkarteringar i Johanneberg med ungefär samma basvindriktning. Huvudintrycket är en markant likhet mellan kartorna. Ser man till detaljerna, är det på de flesta gemensamma punkter en mycket god överensstämmelse. För närmare analys av detta vindriktningsfält hänvisas till Holmber (1974).

Den goda överensstämmelsen mellan olika tillfällen med samma basvind gäller även för de direkta observationerna av vindriktningarna (fig 5.2, efter en seminarieuppsats 1974 av Krathmann). Detta är i viss mån anmärkningsvärt med tanke på den relativt korta observationstiden i varje mätpunkt och att vindrosorna inte är uppmätta samtidigt utan i löpande följd. Man bör emellertid förvänta sig att vindrosor ibland kan vara starkt avvikande från genomsnittssituationen på grund av slumpartade händelser.

Exempel på vindriktningar kring hus

I följande båda exempel visas vindriktningar som kan förekomma kring hus och de luftrörelser som kan förmodas ligga bakom vindrosornas utseende.

Rannebergen, 1974-06-10

Området ligger på ca 110 m ö h intill den branta norra dalsidan av Lärjedalen. Rannebergen är fritt exponerat för framför allt vindar från S och SV. Husen, som bildar en fyrkant med ca 500 m sida, är åtta våningar höga och 120-160 m långa.

Fig 5.3 visar vindförhållandena framför och bakom den mot väst vettande husraden. På de öppna ytorna i väster (parke-

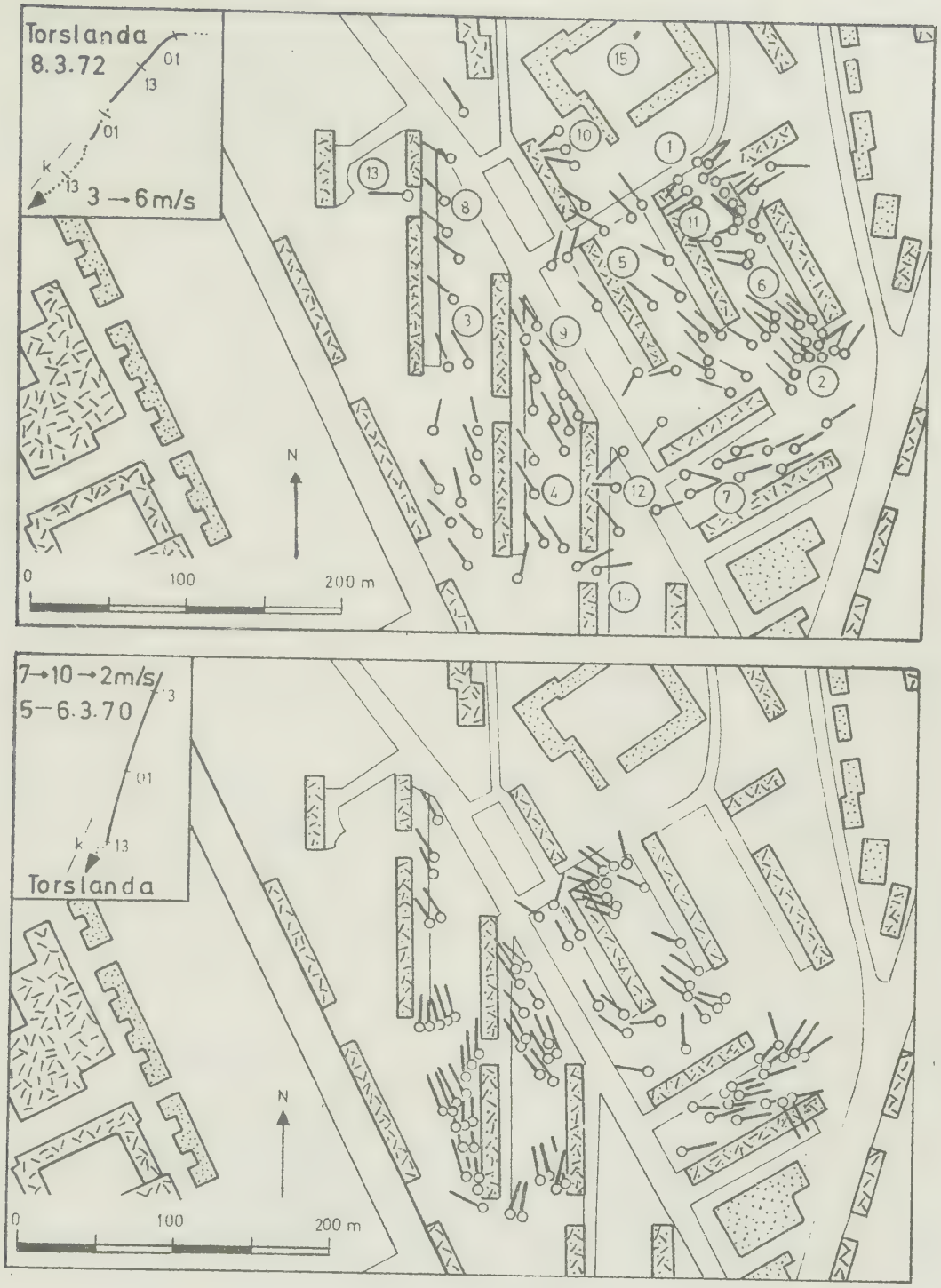


Fig 5.1 Två snöspårskarteringar i Johanneberg. Lägg märke till den stora likheten i observerade riktningar vid de båda tillfällena som hade nästan samma basvindriktning.

Two mappings of wind tracks in snow at almost the same base wind direction. Note the great similarity even in the details.

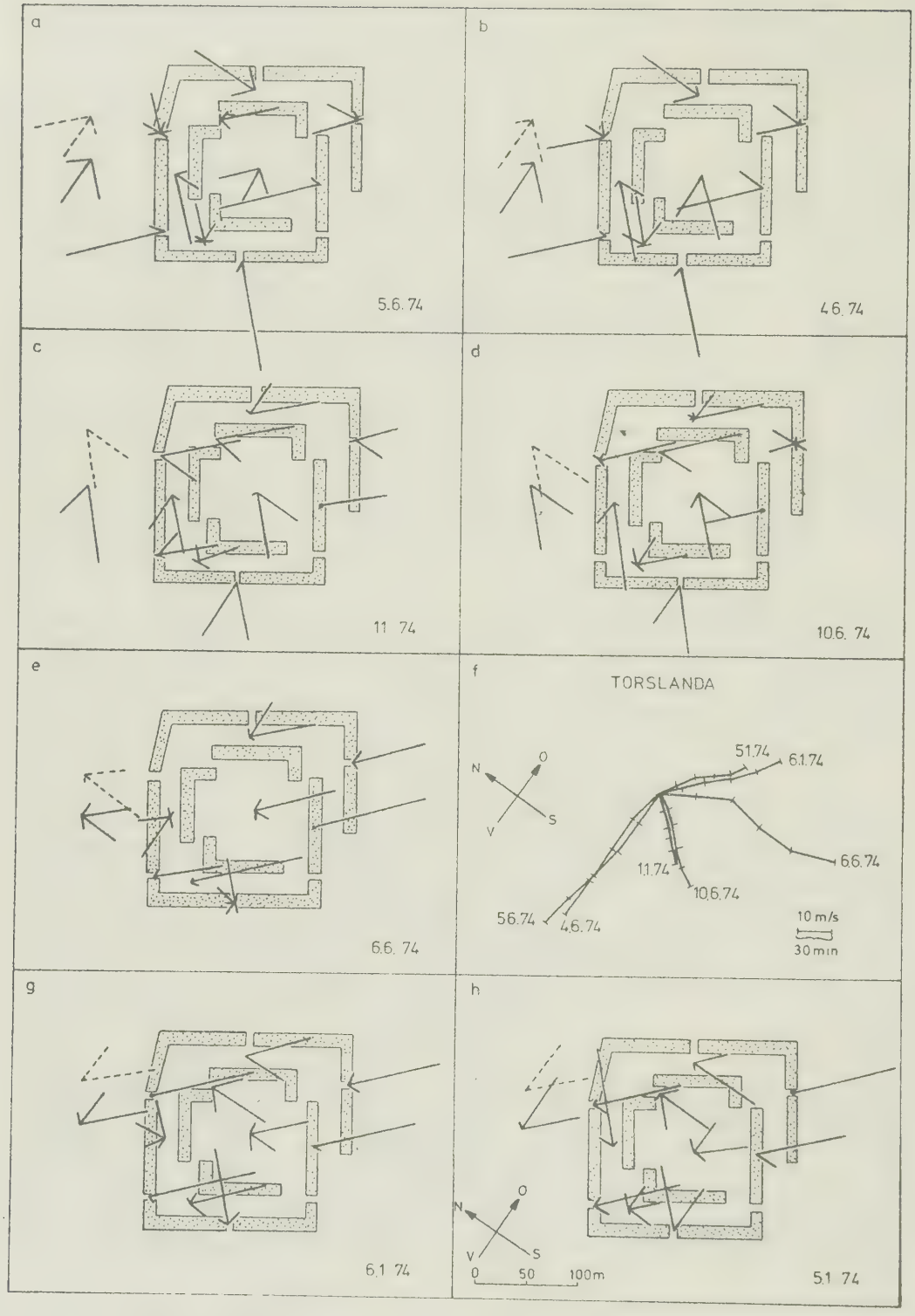


Fig 5.2 Vindrosor från Guldringen i Västra Frölunda (efter mätningar av Krathmann 1974). a och b, c och d samt g och h har parvis lika basvindriktning (f).

Wind roses in a three-storeys building group (after recordings by Krathmann 1974). a and b, c and d, and g and h have in pairs the same base wind direction (f).

ringsplatser) kom vinden vid detta tillfälle i huvudsak från SV. Vid husens lovartsida strömmade luften ut från husen från S och SO. I sammanflödeszonen mellan vinden från den öppna ytan och utströmningen från lovartspiralen hade alla vindriktningar utom S nästan samma frekvens. På läsidan var vinden inte lika stabil som på lovartsidan av husen. Att strömningen i huvudsak var riktad in mot husen framgår ändå tydligt.

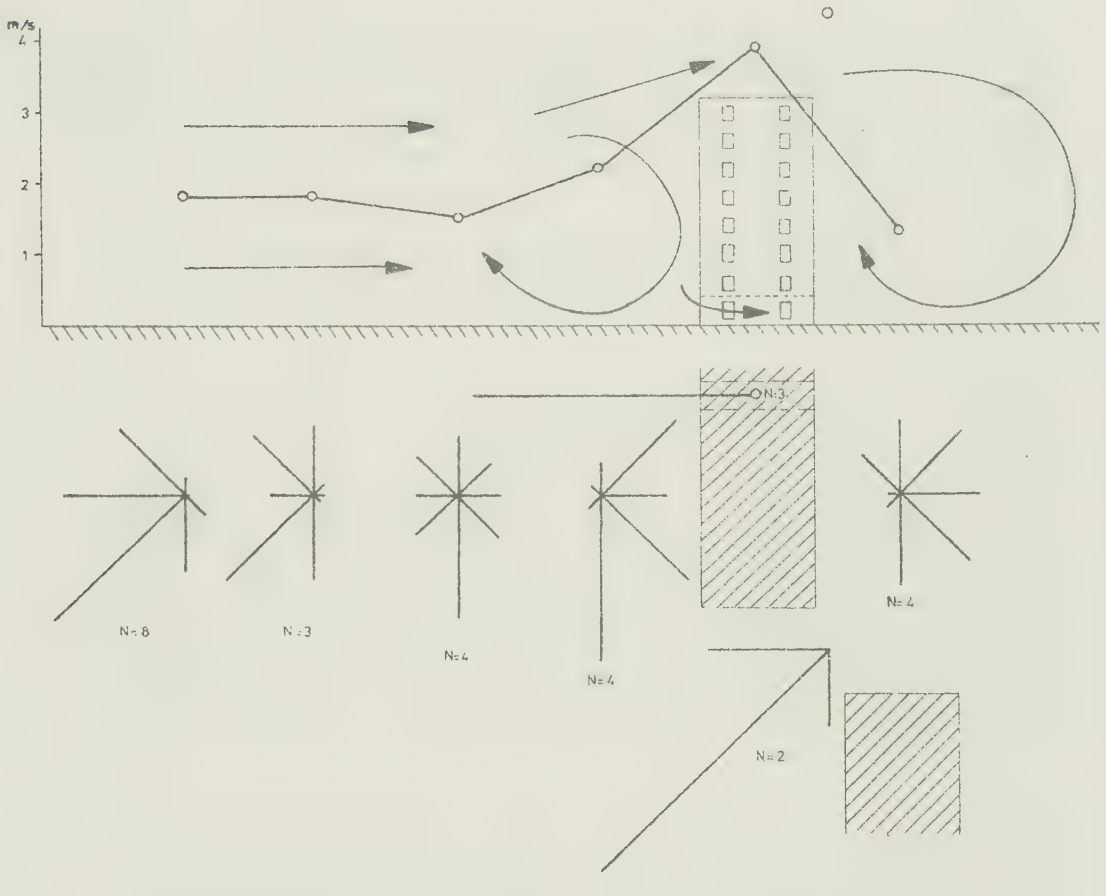


Fig 5.3 Medelvärde av vindhastighet och vindriktning intill en rad åttavåningshus i Rannebergen

Averages of wind speed and wind direction around a row of eight-storey buildings

Vindhastigheten var i lovartspiralen något högre än på den öppna ytan framför husen och i sammanflödeszonen något lägre. Läsidan hade den lägsta hastigheten. I gångtunnlarna genom husen var vindhastigheten dubbelt så hög som på de öppna ytorna och i passagerna mot sydväst mellan husblocken var den ännu något högre.

Linnégatan, 1972-11-14

Bebyggelsen är belägen i en dalgång N-S och består av femvånings stenhus i slutna kvarter. Mätningarna visar vindförhållanden mellan parallella byggnader. Vindriktningarna observerades på taket av ett av husen och samtidigt utförde en annan person motsvarande observationer nere på gatan. Tre punkter i gatans tvärsnitt undersöktes (fig 5.4.a och c). Då mätserien utförts en gång bytte observatörerna plats och serien utfördes ännu en gång. Avsikten med detta arrangemang var att utjämna eventuella skillnader i observationsteknik mellan de båda personerna.

Av fig 5.4.b framgår att vinden ovan hustaket var nordvästlig och relativt jämn. På gatan var vinden ostadigare - mestadels pendlande mellan nord och nordost. Observationspunkt 2 närmast gatans läsida har max för vindar från nord, medan de båda andra visar max från nordost, d v s som om inkommande vindens riktning 'speglades' mot hussidan.

Samma 'spegling' av basvindriktningen mot en husvägg kan lätt observeras i flera av de tidigare presenterade delfigurerna - fig 5.1 (snöspår) och 5.2 (vindrosor).

Vindriktningarnas ändring vid ändrad basvindriktning

När basvinden ändrar riktning, ändras i flertalet fall även markvindens riktning. Hur stor avvikelsen blir, beror på bebyggelsens utformning och den närmaste omgivningen. Ofta förändras vindriktningen i bebyggelsen med ungefär lika stort belopp som basvinden. På öppna ytor förskjuts markvindens riktning åt samma håll som basvinden, medan den mellan husen vrids åt motsatt håll. I vissa lägen, t ex i trånga passager, kan förändringar ske språngvis (fig 5.2).

Snöspår

Längs Vasagatan (fig 5.5) har snöspårkartering gjorts vid olika basvindriktningar. Basvindriktningen varierar mellan SO och N. Som helhet kan förändringen i basvindriktning följas i vindriktningsändringen mellan husen. Det finns dock några störande moment. Närheten till hörn kan ge stora avvikelser från förhållandet i stort längs gatan. Oregelbunden gruppering av husen kan också ge avsevärda riktningsändringar (vid 1 i fig 5.5.a och 2 i fig 5.5.d). Dessutom kan omgivande topografi störa basvinden så att det blir en skenbart avvikande vindriktning i observationspunkten. Detta kan kanske förklara det säregna strömningsmönstret vid 3 i fig 5.5.d.

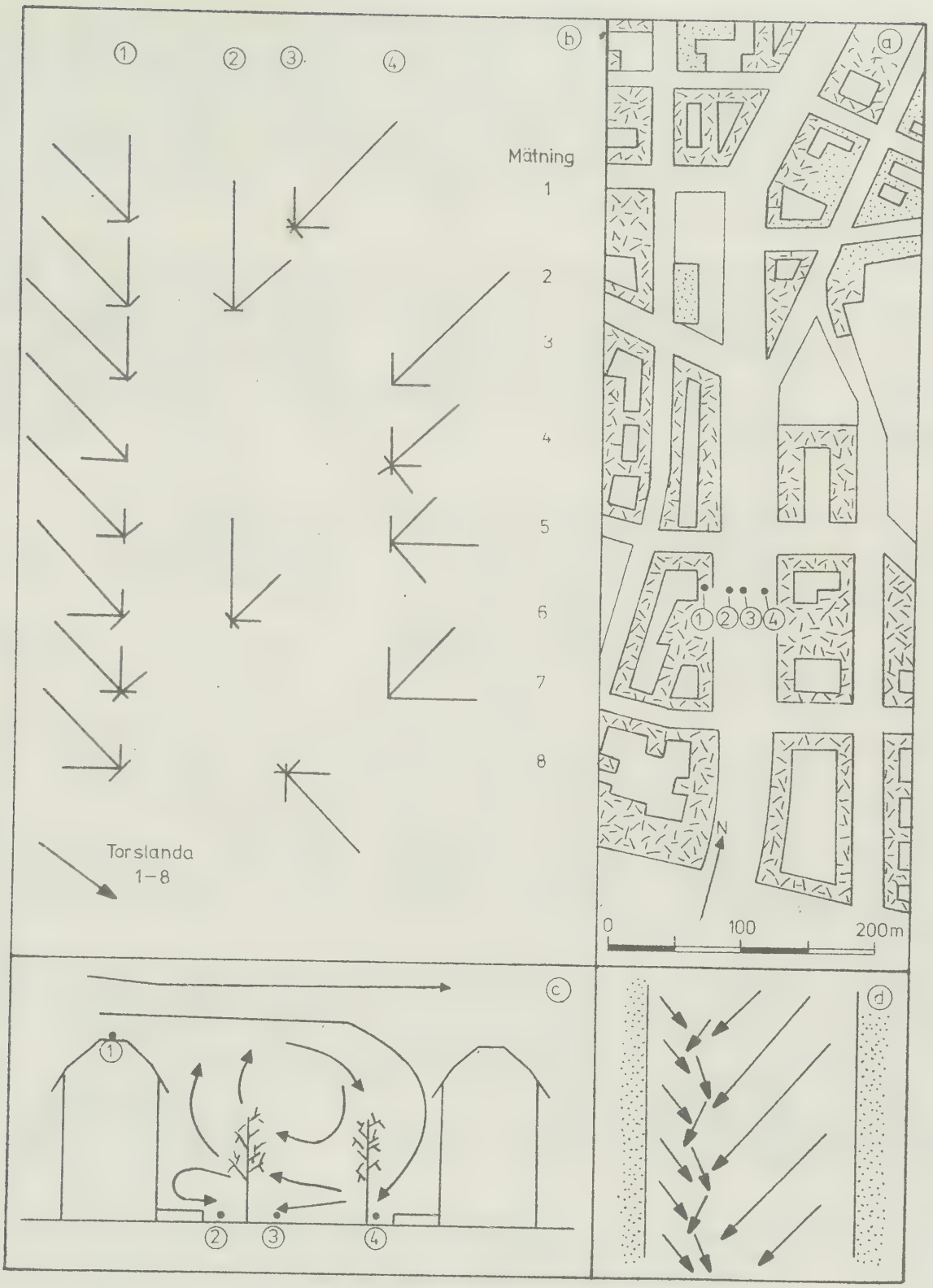


Fig 5.4 Vindmätning på Linnégatan
a/ mätpunkternas läge
b/ observerade vindriktningar
c/ och d/ principskiss av luftrörelserna

Wind observations in a street
a/ observation sites
b/ observed wind directions
c/ and d/ principal sketch of the air flow

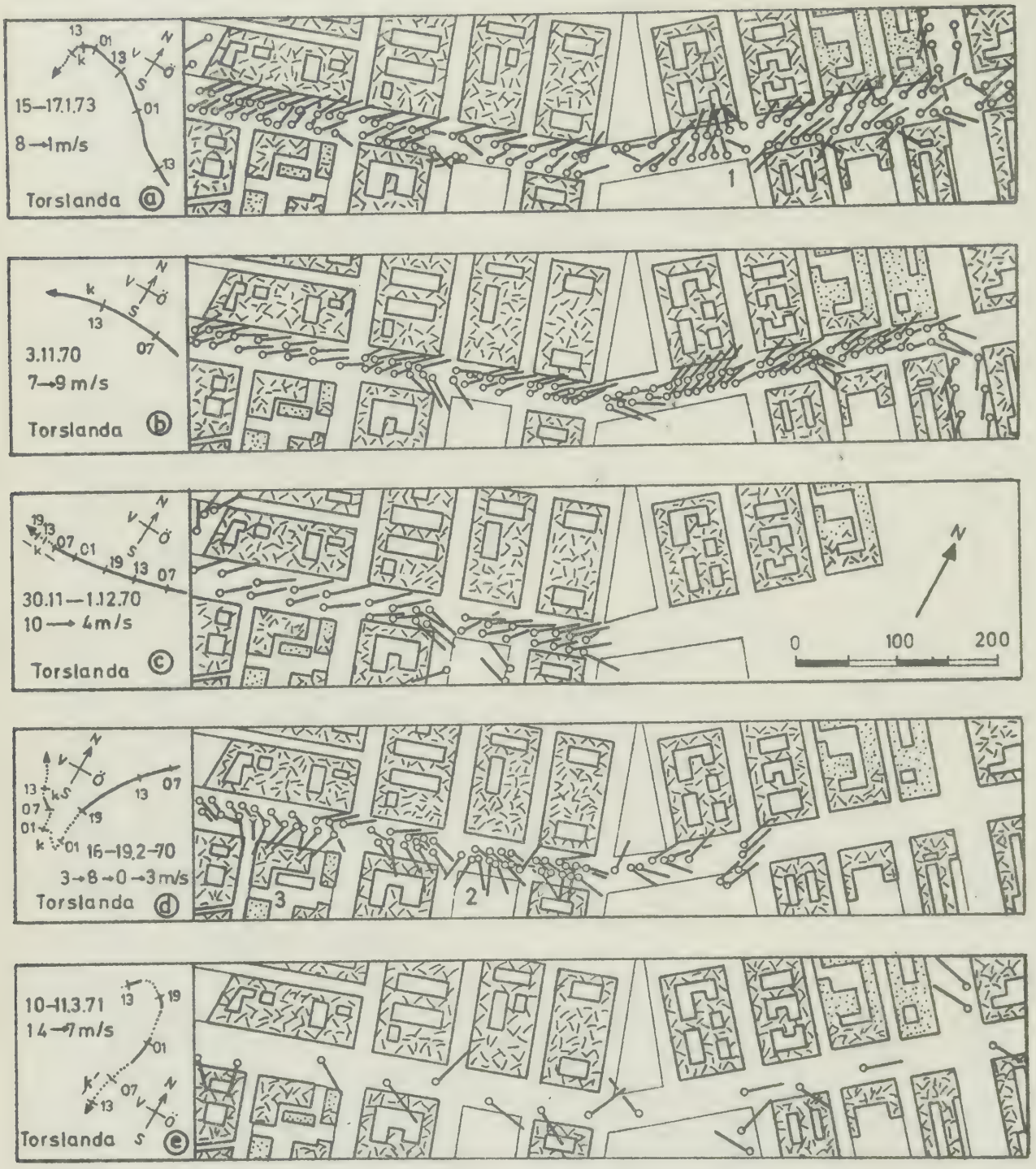


Fig 5.5 Snöspår längs Vasagatan vid olika basvindriktning

Wind direction tracks in snow along the same street at different base wind directions

Vindrosor

För några enkla typer av husgrupperingar har vindrosor från mätslingor ställts samman (fig 5.6). För varje typ av hus-

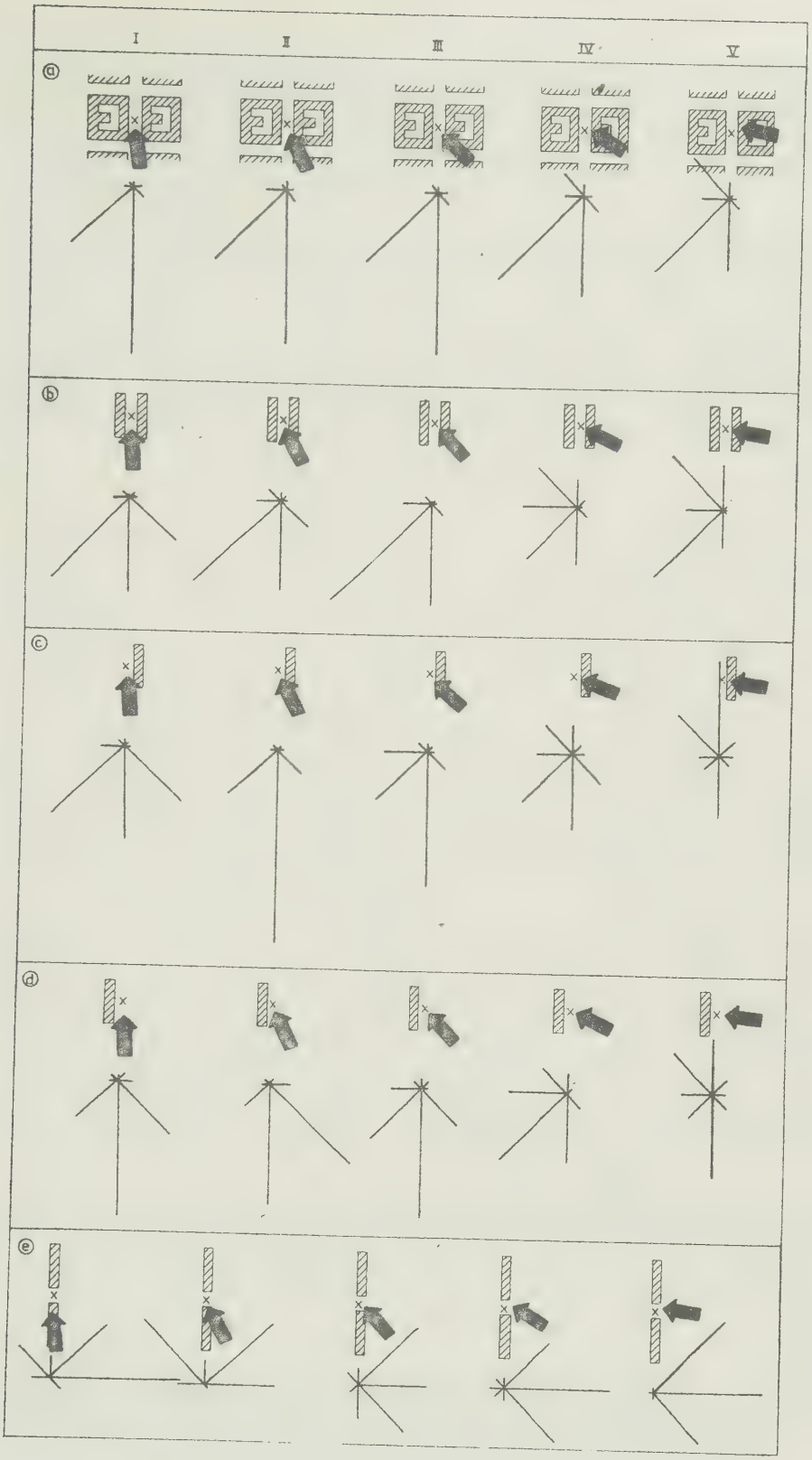


Fig 5.6 Medelvindrosor för några typiska lägen (X) i bebyggelsen. a/ sluten kvartersbebyggelse, b/ parallella långsträckta hus, c/ och d/ ensamt långsträckt hus, e/ trång passage

Average wind roses for some typical positions in the built-up area. a/ closed building groups, b/ parallel elongated buildings, c/ and d/ single elongated building, e/ narrow passage

gruppering har ett antal anblåsningsriktningar (I-V) urskiljts från längs med till tvärs mot husets längsutsträckning. I en del fall har det också varit möjligt att ta hänsyn till om mätpunkten befunnit sig i lä- eller lovartposition. Anblåsningsvinkeln har bestämts som vinkeln mellan basvindriktningen vid Torslanda och husets längdutsträckning. Hänsyn till lokala avvikelser hos den anblåsande vinden har därför inte kunnat tas.

Resulterande vindriktning mellan husen visas i fig 5.7. Med resulterande vind menas här att vindobservationerna lagts samman med hänsyn till både riktning och hastighet, vilket ger ett mått på vindens genomsnittliga förflyttningsriktning.

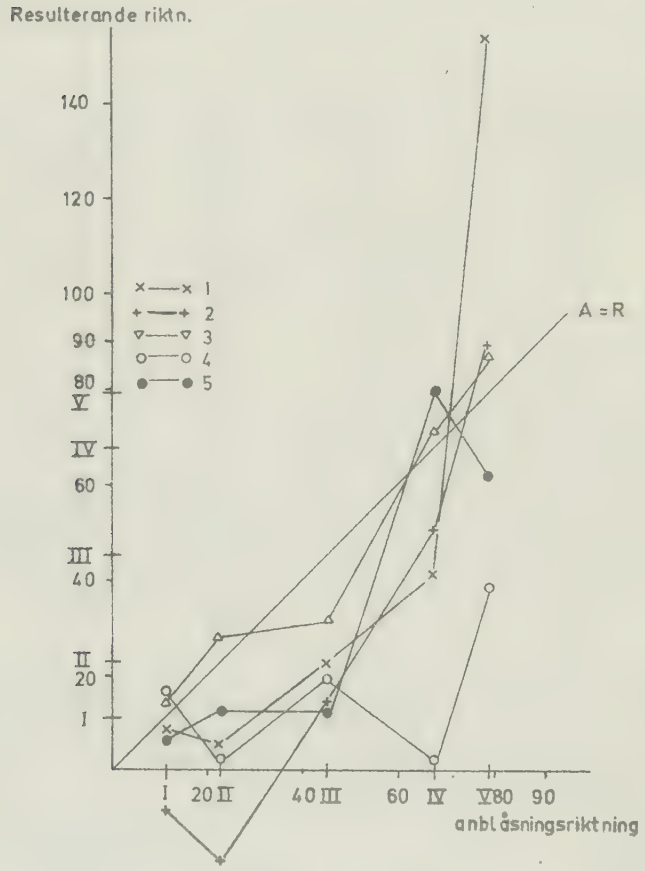


Fig 5.7 Sambandet mellan anblåsningsriktning och resulterande 'speglad' vind intill eller mellan hus. Linjen A=R innebär att anblåsande vindens vinkel är lika stor som mellan resulterande vind och husen.

Co-variation of incident wind direction and resulting 'reflected' wind direction between buildings. The straight line A=R indicates that the angle of the incident wind to the house equals the angle of the resulting wind to the house.

1- långsträckt hus, läsida (elongated building, lee side),
2- d:o, lovartsida (d:o, windward side),
3- mellan parallella hus (between parallel buildings),
4- sluten bebyggelse, läsida (closed building groups),
5- d:o, lovartsida (d:o windward side).

Ett genomgående drag är att vid stora anblåsningsvinklar blir den resulterande vinden osäkrare bestämd i och med att vindrosorna då har större variationsbredd. Minst variationsbredd tycks inte anblåsningsriktningen parallellt med gatan ha utan anblåsningsriktningar i spetsig vinkel (II och III).

Bäst framträder sambandet mellan anblåsningsriktning och vindriktningen vid marken mellan parallella hus. Mätpunkterna ligger i nästan samtliga fall mitt emellan husen. Vindrosorna (fig 5.6.b) visar för anblåsningsriktningarna I, II och III att (som figuren är ritad) vinden mellan husen får en minskande andel vindobservationer från SO, d v s i anblåsande vindens riktning. Vindrosorna för riktningarna IV och V har påtagligt inslag av vind från N och NV. Resulterande vindens riktning (fig 5.7) är emellertid nästan en "spegling" av anblåsande vindens riktning.

I slutna kvarter är sambandet svagare. Mätpunkterna är på grund av trafiken förskjutna mot ena sidan av gatan i denna typ av bebyggelse. Flera av gatorna är dessutom trånga. Resulterande vinden (fig 5.7) visar att det har betydelse om mätpunkten befinner sig på lovart- eller läsidan av gatan. På läsidan påverkas inte resulterande vindens riktning i någon större utsträckning av anblåsningsriktningen. Dessutom har det betydelse hur nära husväggen mätpunkten befinner sig. Både på lä- och lovartsida innebär läget nära hussidan, att en större del av observationerna visar strömning längs husen. I de enskilda mätningarnas vindrosor har det visat sig att det framför allt är i positioner nära läsidan som de mest avvikande resulterande riktningarna finns.

De flesta mätpunkterna i den slutna kvartersbebyggelsen är belägna i en relativt trång dal. Denna tycks ha vridit den anblåsande vinden i förhållande till den riktning som observerats vid Torslanda. Detta kan i första hand förmodas ha påverkat de sneda anblåsningsriktningarna (II, III och IV) så att den verkliga anblåsningsriktningen blivit antingen längs med eller tvärs emot husen. Likheten mellan vindrosorna för riktningarna I, II och III tyder på detta (fig 5.6.a).

På läsidan intill ett långsträckt hus ändras markvindriktningen genom 'spegling' på samma sätt som mellan parallella byggnader. På lovartsidan är det mer komplicerade förhållanden. Först vid större anblåsningsvinklar (III, IV och V) kommer 'speglings'-effekten att framträda (fig 5.6.d).

I trånga passager är vindrosorna relativt likartade för anblåsningsriktningarna III, IV och V. Riktningarna I och II, vilka innebär vind parallell med eller i spetsig vinkel mot husen, ger påtagligt annorlunda vindrosor (fig 5.6.e).

Strömningskomponenter och tolkningsmodell

För att tolka vindfälten i det på grund av topografi och bebyggelsegruppering ofta komplicerade bebyggelselandskapet har jag

sökt dela upp strömningen mellan och kring byggnader i komponenter. I den tolkningsmodell jag använt mig av har strömningskomponenterna erhållits genom litteraturstudier samt analys av mina egna karteringar och uppmätningar.

De strömningskomponenter jag urskilt är a) lovartvirvel, b) lävirvel, c) lä/lovartvirvel, d) spiralvind, e) hörnvirvel, f) vridning och g) sekundär virvel. Lävirvlar, lovartvirvlar och lä/lovartvirvlar illustreras slående med rökförsök i vindtunnel av Ingelmann-Sundberg (1966, 1969). Spiralvindar, hörnvirvlar och vridningar framträder i de uppmätningar av vindriktningar som utförts av Luthander & Gullstrand (1945) i vindtunnelförsök, men utan att termerna anges explicit. En hörnvirvel anses av dem vara en lävirvel, vars axel böjts mot marken.

Fig 5.8 visar en modell av hur komponenterna anges av snöspår och den genomsnittliga strömning som antas ha skapat dem, och fig 5.9 hur de registrerats som snöspår. I följande beskrivning av strömningskomponenterna hänvisar versalerna till dessa figurer.

A. Lovartvirvel

Bildas genom att en luftström avlänkas nedåt, då den i rät vinkel träffar en husvägg eller något annat föremål med brant lovartsida. Nära markytan blir rörelseriktningen motsatt den dominerande luftströmningen och det sker således en återströmning av luft. Rotationsaxeln ligger i horisontalplanet och är i stort sett vinkelrät mot luftströmmens rörelseriktning. Vindspåren visar således en strömning rakt ut från byggnaden.

B. Lävirvel

Bildas då luften strömmar över en byggnad eller brant sluttning orienterad vinkelrätt mot strömningen och sugs ner på något avstånd bakom den. Nära marken strömmar luften i motsatt riktning (återströmning). Närmast huset rör sig luften uppåt, men luftströmmen är här efter min erfarenhet svag och turbulent till skillnad från den nedåtgående som är förhållandevis väl samlad. Karakteristiken gäller även lovartvirvlar. Utmärkande för lävirveln är att dess vindspår är riktade rakt in mot byggnaden.

C. Lä/lovartvirvel

Uppkommer då två byggnader står så nära varandra att lävirveln bakom det ena huset kommer att sammanfalla med lovartvirveln för det bakomvarande. Liksom för de enskilda lä- och lovartvirvlarna utmärks vindspåren av att de anger en riktning rakt motsatt strömningsriktningen ovan hustaken och den som vindspår i fria lägen anger.

D. Spiralvind

Då vindens angreppsriktning ej är vinkelrät mot byggnadens utsträckning kommer lä- och lovartvirvlarna att dras ut spiralformigt längs byggnaden. Jag har valt att beteckna dessa

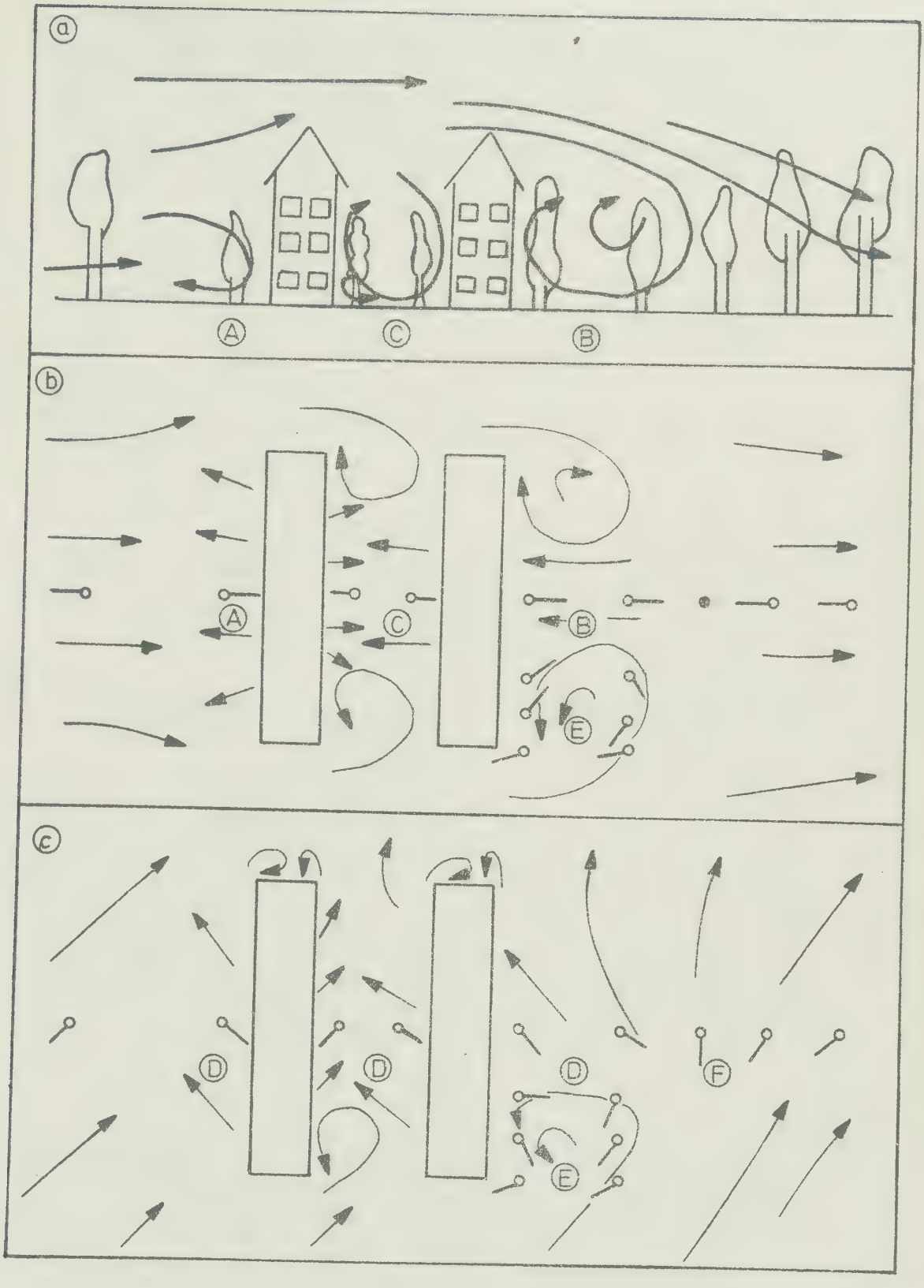
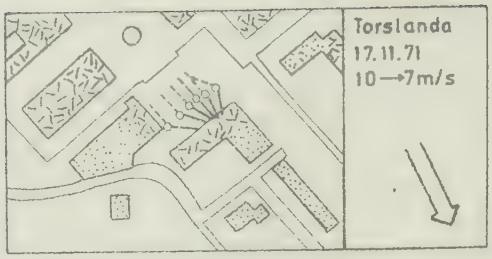


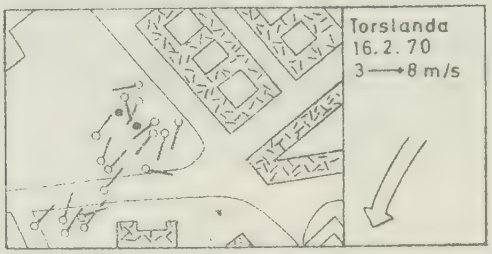
Fig 5.8 Strömningen kring två parallella byggnader
a) vertikalsnitt b) och c) markvind och snö-spårsriktningar

Airflow around two parallel buildings
a) vertical section b) and c) surface wind and wind-marks in snow

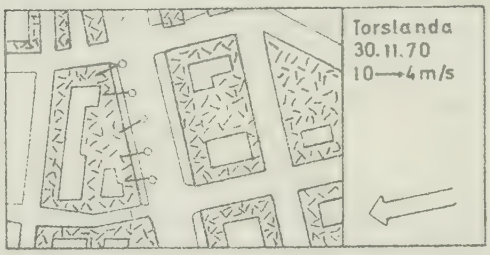
A. Lovartvirvel
Windward vortex



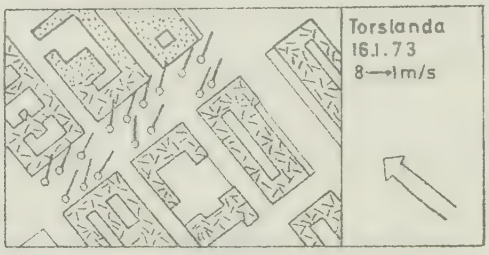
B. Lävirvel
Lee vortex



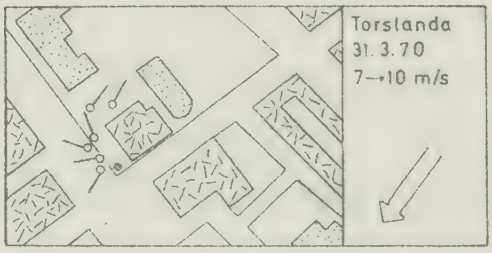
C. Lä/lovartvirvel
Lee/windward vortex



D. Spiralvind
Spiral vortex



E. Hörnvirvel
Corner vortex



F. Vridning
Turning

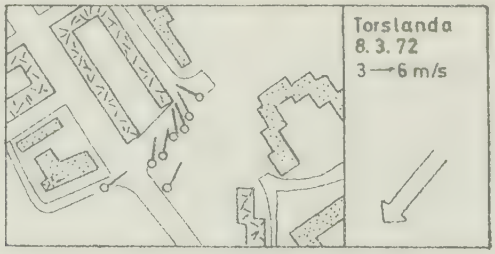


Fig 5.9 Observerade strömningskomponenter, som de registrerats i snöspår

Components of air flow observed as snow tracks

utdragna virvlar för lä- resp. lovartspiral. Vindspåren karakteriseras av att de anger en riktning snett mot eller från byggnaden. Den basvind som skapat dem har inte den motsatta riktningen, vilket ju var fallet för lä- och lovartvirvlarna. I stället kan man tänka sig att det sker en 'spegling' av vindriktningen mot hussidan. Fortfarande strömmar dock luften på lovartsidan ut från byggnaden och luften på läsidan mot den.

E. Hörnvirvel

Bildas på läsidan vid husens hörn på samma sätt som lävirvlar. Lävirveln har emellertid horisontell rotationsaxel, medan hörnvirveln har en vertikal. Övergångsformer med lutande rotationsaxel har jag observerat vid såpbubbleförsök. I vindspåren efter hörnvirvlarna kan man följa vindens avlänkning in i lä bakom huset och ibland även återströmningen längs väggen mot hörnet.

F. Vridning

Begreppet vridning användes då luftströmmen ändrar riktning utan att återströmning sker i större omfattning, vilket ju är fallet för ovan beskrivna virvlar. Vridningen kan uppgå till flera tiotal grader. Genom vridningen uppstår på vissa ställen konvergerande strömning och på andra divergerande. Detta bör leda till att vinden skärps i vissa områden, medan den avtar i andra. Vindspåren utmärks av den gradvisa förändringen i riktning.

Vindens avlänkning mellan byggnader sker oftast via virvlar av olika slag. Däremot tycks den topografiska styrningen av vinden mestadels ske genom vridningar. Orsaken till detta förhållande torde vara de vanligen mer avrundade formerna hos topografin. Är terrängformerna tillräckligt tvära och branta, kan de emellertid ge upphov till virvelbildning, vilket diskuterats i kapitel 1. Själva storleken på terrängformerna betyder sannolikt inte heller något för detta förhållande. Man kan ju jämföra med att Kármánvirvlar på satellitbilder kunnat observeras i molntäcket i lä av vulkanön Jan Mayen (Mohr 1971) liksom de kan bildas av röken från en cigarrett.

G. Sekundära virvlar

Fig 5.4.b visar att vindriktningen vid marken kan variera beroende på positionen i tvärsnittet av gatan. Detta kan förklaras om man tänker sig att det bildas en sekundär lovartvirvel eller lovartspiral, när luftströmmen från den primära virveln träffar husväggen på läsidan (fig 5.4.c).
Vindriktningen vid mätplats 2 har en dominerande nordlig komponent, som erhålles genom läget i den zon där markvinden från den primära och sekundära spiralvinden möts. Där bildas en zon med variabel vind beroende på om den primära eller sekundära strömningen just då dominerar (fig 5.4.d). En ballong som släpptes på gatan transporterades av vinden snabbt till denna zon ett stycke från läsidans husvägg och

förflyttades sedan längs gatan i en zigzagformad bana.

I modellförsök har sekundära lovartvirvlar observerats av Halitsky (1965, fig 1). Snödrivor mellan byggnader visar också den sekundära virvelns förekomst och storlek. Fig 5.10 visar en driva som observerades i februari 1970 i Krokslätts studentstad. Att drivan bildats av luftströmning från två håll framgår klart av att drivan har två kammar som lutar in mot varandra.

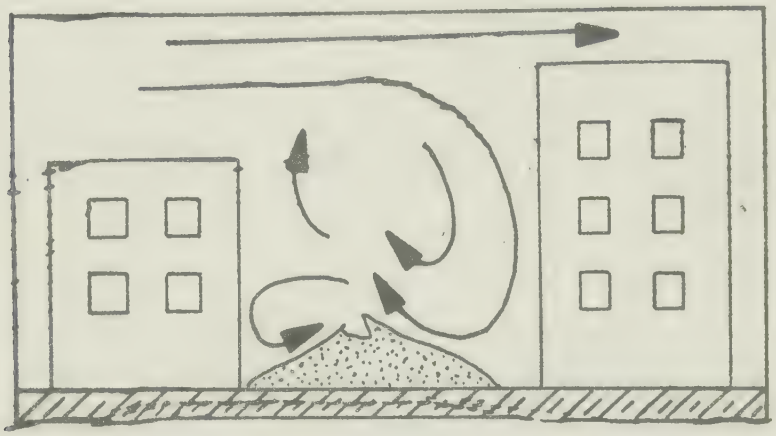


Fig 5.10 Snödriva mellan två byggnader i Krokslätts studentstad
Snow accumulation between two buildings

De sekundära virvlarna och spiralerna har inte särskilt stora dimensioner, och de skapas i den del av gatans tvärsnitt där luften är mest turbulent. Båda dessa faktorer gör att de ofta inte observeras, då spåren på lovartsidan är mycket påtagligare.

Den vindsvaga zonen mellan den primära och sekundära virveln kan även observeras i ansamlingen av höstlöv. Den 18 oktober 1972 (fig 5.11.a) låg i Göteborg höstlöven på Avenyn som löper i NNV-SSO på den östra sidan, men ett stycke ut från husväggen. Några flaggor på hustaken visade att vinden strax ovan taken kom från ungefär NNO (Torslanda hade N-vind). På motsatta sidan av gatan fanns knappt ett enda löv. Det såg ut som om Gatukontoret varit ute och sopat rent på den ena sidan men ännu inte hunnit med den andra. Att så inte var fallet kunde konstateras påföljande morgon (fig 5.11.b). Vinden hade nämligen under nattens gång mojnat och kantrat över till SV och senare till V. Nu låg alla löv på den västra (motsatta) sidan, men fortfarande ett stycke ut från hussidan. Trottoaren på den östra sidan var nu helt fri från löv.

Med en tråd kontrollerades vindriktningen i olika punkter på gatan (fig 5.11.a). De visade sig helt bekräfta den luftrörelse som fig 5.4.d visar.

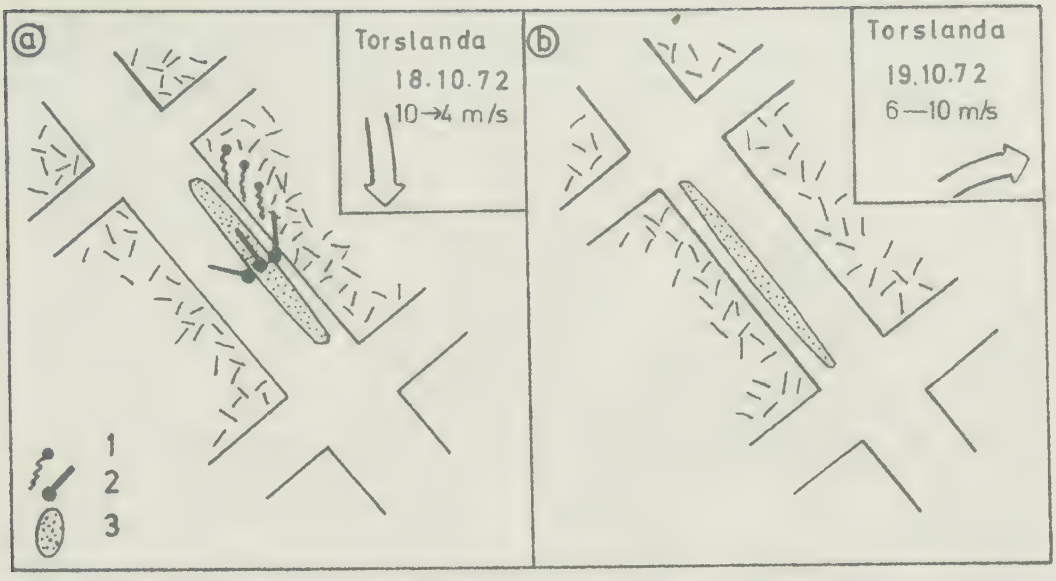


Fig 5.11 Drivbildning av höstlöv på Avenyn. När vinden ändrade riktning förflyttades drivan till andra sidan av gatan.
1. Vindriktning enligt flaggor på hustaken
2. Vindriktning på gatan
3. Driva av höstlöv

Drifts of autumn leaves. When the wind changed direction the heap moved to the other side of the street.
1. Wind direction according to flags on the roof
2. Wind direction in the street
3. Drift of autumn leaves

Det transporterade materialets inverkan på snöspårens riktning

Det har tidigare nämnts, att luftrörelser och materialrörelser inte behöver stämma helt överens. Partiklarna i det transporterade materialet har högre densitet och massa än luftpartiklarna och har således större tröghet mot förändringar i rörelsen. Ju högre vindhastighet, desto större tröghet mot avvikelser.

Vid några tillfällen har det, nära gathörn vid övergången till en hörnvirvel, visat sig att lovartstrimmor vid marken inte haft samma riktning som den del av lovartstrimman, som observerats ett stycke ovan markplanet. Spåren vid marken har angett en betydligt större vinkel mot gatans längdriktning än spåren högre upp. Fig 5.12 ger ett exempel på en sådan skillnad i snöspårsriktning beroende på observationsnivå. På grund av byggnadens form och placering får hörnvirveln i detta fall betydligt större dimensioner än normalt. Det är emellertid diskutabelt, om det bara är snöns rörelseriktning som skiljer sig mellan de båda nivåerna eller om även luftpartiklarna visar samma tröghet mot riktningsändring. Rimligtvis måste även luftpartiklarna visa tröghet mot riktnings-

ändring, så att radien i avvikelsen i luftrörelsen ökar med ökande hastighet. Detta borde medföra, att hörnvirveln får en något lutande rotationsaxel och en gradvis övergång till lävirvel.

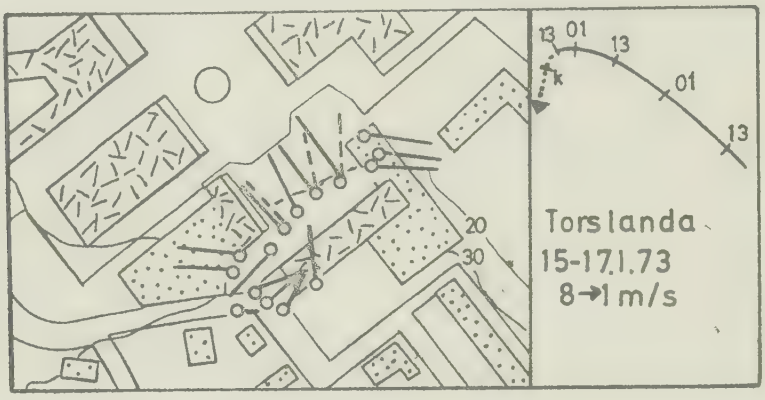


Fig 5.12 Snöspår som visar en hörnvirvel vid Götaplatsen. Lägg märke till att vindspåren på högre nivå inte visar samma vindriktning som markspåren.

Snow tracks showing a corner vortex. Note that the snow tracks at higher levels do not show the same wind direction as the tracks at ground level.

Förhållandet mellan vindkraft och avlänkande kraft kan också vara styrt av terrängens lutning. Vid en kartering i april 1970 kunde jag observera detta. Vindspåren bestod den gången av både vindkanaler och lovartavsättningar. På sluttande mark i Vasaparken visade vindspåren ibland inte samma riktning vid marken som högre upp. Skillnaden beror inte på vindspårstyp, eftersom vindkanalen visade samma riktning som lovartstrimman närmast marken. Den beror i stället på observationsnivå. Närmast marken, där vindhastigheten och därmed vindkraften är låg, kommer tyngdkraftens komposant i sluttningsriktningen att få förhållandevis större inflytande och kan ge en markerad avböjning av vindspåren. Om snö dessutom driver efter marken, kommer densiteten av blandningen snö och luft att vara högre än för blandningen snö och luft på något högre nivå. Detta bör ytterligare förstärka tendensen till rörelse utför sluttningen.

Skillnaden i förhållandet mellan observerade lä- och hörnvirvlar (fig 5.13) är exempel på hur snöns egenskaper troligen kan påverka typen av vindspår och deras riktningar. Man kan inte utesluta att även meteorologiska faktorer som t ex luftens stabilitet kan påverka förhållandet mellan vertikala och horisontella luftrörelser. Däremot var vindhastighet och vindriktning så lika vid de båda snöfallen (NO 7-9 m/s), att vindvariationer knappast kan vara orsak till differenser i vindmönstret. Vid

första tillfället (fig 5.13.a) var det kallt -5 - -10°C). Snön var lätt och torr. Vindspåren var av typen vindkanaler. Avgränsningen av läzonen framgår tydligt i och med att den nedåtgående luftströmmen så den träffar marken skapar tydliga vindspår men utan riktning. På ömse sidor om dessa spår strömmar luften utåt. Detta skulle man kunna benämna en 'splashing eddy' (Lindqvist 1973, s 31).

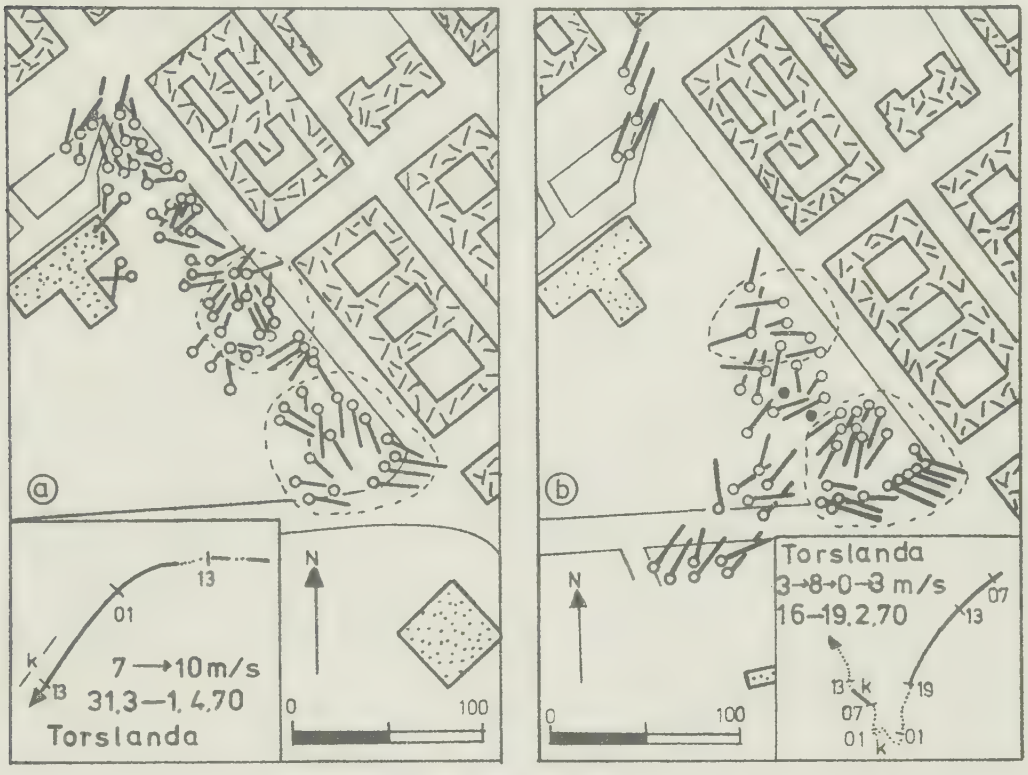


Fig 5.13 Snöspår i Vasaparken vilka visar lä- och hörnvirvlar. Observera hur omböjningen i hörnvirvlarna (inringade med en streckad linje) skiljer sig mellan en situation med a) kall och torr snö och b) nollgradig blöt snö.

Snow tracks showing lee and corner vortices. Note the difference of the angles in the corner vortex (surrounded by a dashed line) between a situation with a) cold and dry snow and b) wet melting snow.

Vid det andra tillfället (fig 5.13.b) var temperaturen kring 0°. Snön var då blöt och tung. Vindspåren var av typen lovartstrimmor och i någon mån vindkanaler. Vid det första tillfället med den lätta snön blev omböjningen i hörnvirvlarna större, vilket gav plats för en mer utbredd lävirvel, medan den vid det andra tillfället med tung snö blev betydligt mindre. Det är diskutabelt om luftpartiklarnas rörelser var olika vid

de båda tillfällena eller om det är snöns egenskaper som orsakat olikheten i karterad strömning.

Ett annat exempel på den möjliga effekten av det transporterade materialet erhålles ur karteringar i västra Gårdsten, i norra Göteborg. I januari 1973 observerades dimfrostavsättningar (fig 6.2.a), skapade av underkylda vätande dimdroppar. Dessa små droppar (0,01-0,05 mm, Liljeqvist 1962, s 168) bör följa luftens rörelser betydligt bättre än snöflingor. Vindspåren visade en svårförklarad vridning in mot törnrosplanteringar längs husen, där det är betydligt större friktion än på de för övrigt asfalterade gårdarna. Detta ansåg jag kunna vara exempel på hur det transporterade materialet påverkade vindspårsriktningarna. Men eftersom samma riktningsfält observerats vid flera senare tillfällen med snöfall vid 0 °C (ett sådant redovisas i fig 6.2.b), bör orsaken till riktningsfördelningen i stället sökas i husgrupperingen.

Vindriktningar i oregelbundna husgrupperingar

Där husgrupperingen ej är regelbunden - husen ligger t ex i vinkel eller det finns en öppen yta strax intill - kommer vindspår och vindrosor att visa på komplicerade strömningsmönster och sambandet med basvindriktningen framgår inte direkt. Den oregelbundna typen av husgruppering är mycket vanlig i Göteborg, ytor med regelbunden husgruppering förekommer däremot sparsamt och med liten areell utbredning. För tolkningen av vindfälten innebär detta att man ofta måste se noga på de enskilda byggnadernas form och gruppering och att samma tolkningsprincip ej är möjlig för alla basvindriktningar.

I villaområden blir de karterade eller uppmätta vindriktningarna ofta mycket varierande. Ett detaljstudium visar dock, att tolkningsmodellen i de flesta fall går att applicera direkt på observationerna och att de vid första anblicken helt oregelbundna vindarna följer ett bestämt mönster (fig 5.14).

När byggnaderna är längre (fig 5.14, övre delen) kan det fortfarande se ut som ett virrvarr av riktningar. Men beroende på den större längdutsträckningen kommer överensstämmelsen med tolkningsmodellen och dess strömningskomponenter att framträda ändå tydligare.

Om husen är byggda i vinkel eller som slutna gårdar, uppstår vindriktningsfält, där modellen inte är direkt tillämpningsbar. De vinkelbyggda husen vid 1 i fig 5.15 medför att det bildas en stor hörnvirvel i stället för en liten hörnvirvel och en läspiral enligt modellen.

I nedre delen av fig 5.15, på de slutna gårdarna, följer strömningen på gårdarnas mitt tolkningsmodellen, men närmare kortsidorna avviker den.

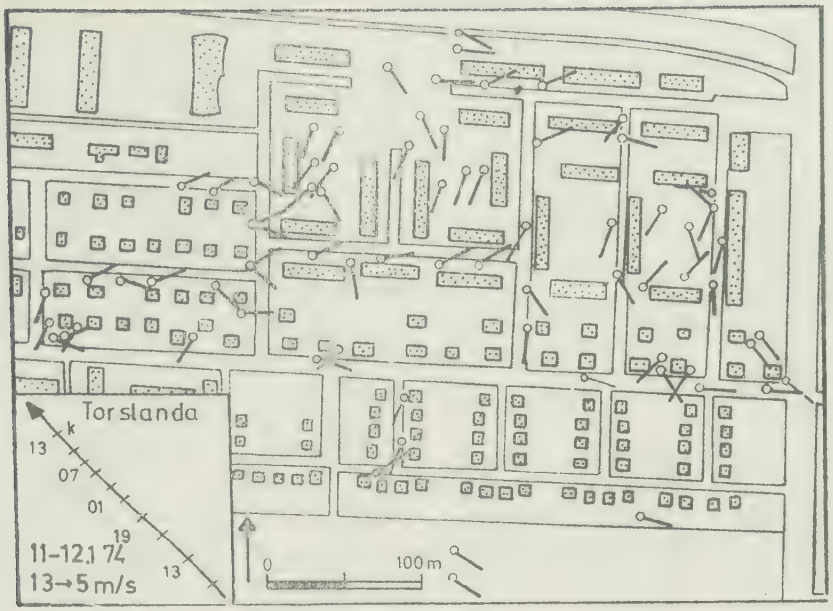


Fig 5.14 Snöspår i ett område med villor och långsträckta tvåvånings bostadshus mellan Nya och Gamla Björlandavägen. Riktningarna varierar kraftigt men följer nästan helt det mönster som anges av tolkningsmodellen.

Snow tracks in an area of one-family houses and elongated two-storey apartment houses. The wind directions vary very much but follow the picture given by the interpretation model.

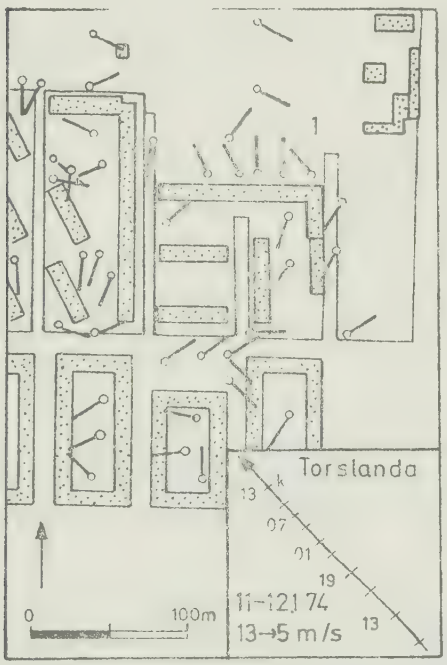


Fig 5.15 Snöspår observerade kring Långängen på Hisingen. Vid de vinkelbyggda husen i överkanten på figuren bildas en stor hörnvirvel (1). Lägg också märke till den oregelbundna strömningen på gårdarna.

Snow tracks showing a large corner-vortex (1). Note also the irregular air-flow on the yards surrounded by rectangular buildings.

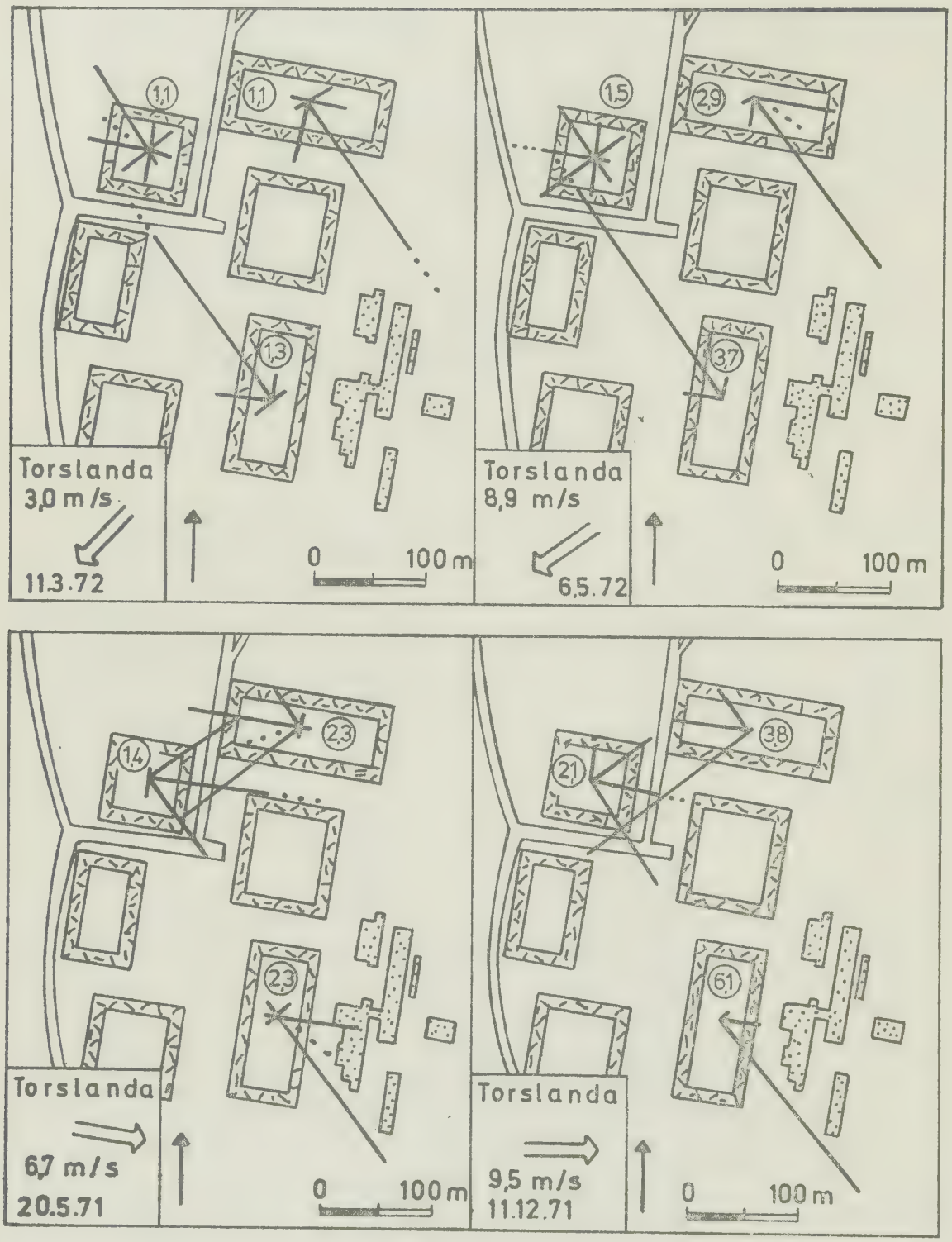


Fig 5.16 På de slutna gårdarna i Norra Biskopsgården styrs vindrosorna av gårdarnas form och längdutsträckning. Lägg även märke till den stora likheten hos vindrosorna vid tillfällen med likartad vindriktning.

The shape of the wind roses is influenced by rectangularly built houses. Note also the great similarity of the wind roses at situations with almost the same base wind direction.

På fig 5.16 lägger man märke till två saker. För det första observerar man den markanta likheten mellan vindrosorna på resp gård vid samma basvindriktning. För det andra kan man konstatera, att gårdens form och längdutsträckning påverkar vindrosens form. De båda långsträckta gårdarna fungerar närmast som parallella byggnader för en mätplats mitt på gården. Den kvadratiska gården får betydligt mer växlande vindförhållanden beroende på att avståndet till husvägg i alla riktningar är litet, så att styrningseffekter från olika håll påverkar mätplatsens vind.

Öppna ytor i eller intill ett bebyggt område kan verka avlänkande på strömningen och ge mer komplicerade vindriktningsfält. I fig 5.17.a medför den öppna ytan (1) i områdets sydvästra del, att vinden i en s-formad bana svänger in på den öppna ytan för att efter hand återta basvindens riktning.

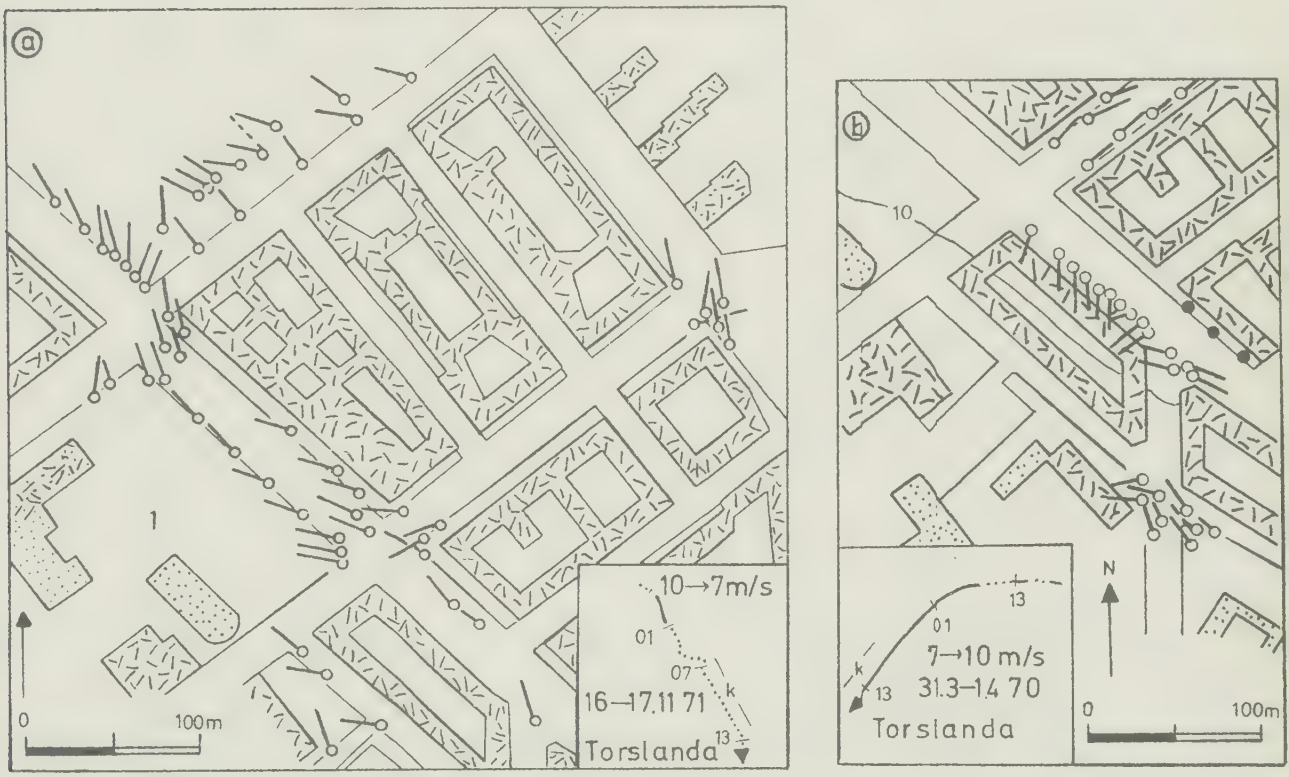


Fig 5.17 Snöspår längs Södra Vägen visar hur strömningen styrs av förekomsten av en öppen yta (1)

Snow tracks showing how the air-flow is influenced by the occurrence of an open area (1)

Samma öppna yta, men vid ett annat snöfall, tycks också kunna förklara snöspårsriktningarna på fig 5.17.b. Den öppna ytan med dess mindre motstånd mot vinden verkar medföra, att luften från den närliggande delen av gatan dras mot nordväst. Längre mot sydost på gatan dras luften i stället mot syd, vilket andra observationer på figuren och även utanför detta område visar som det normala för en gata i NV-SO vid detta snöfall.

6. VINDRIKTNINGSFÄLT

I detta kapitel behandlas bebyggelsegrupper av stadsdelstorlek. Avsikten med detta är flerfaldig. För det första ges möjlighet att se om de i föregående avsnitt presenterade tolkningsprinciperna leder till motsägelser, då hela områden och inte mindre husgrupper analyseras. För det andra kan ges anvisning om i hur stor utsträckning den enkla tolkningsmodellen kan utnyttjas för rimliga tolkningar och var andra luftrörelser bör förutsättas. För det tredje bör det då man studerar större områden vara möjligt att urskilja topografins styrande effekt på vinden.

Bebyggelsens inverkan på vindriktningsfältet

Lorensberg-Vasastaden, 1976-10-13, omfördelning av höstlöv

I oktober 1976 erbjöds ett lämpligt tillfälle att närmare studera vindens omfördelning av nedfallna höstlöv i ett område med relativt regelbunden bebyggelse i slutna kvarter. Förutsättningarna var gynnsamma med stora lövmängder som fälldes snabbt, ringa nederbörd och en relativt stark vind. Detta gjorde att löven inte bara fanns i stora mängder i trädens närhet utan det blev en effektiv omfördelning så att löven spreds även in på gator som saknade träd. Den karterade (fig 6.1) ansamlingen resp frånvaron av löv visar därför nästan helt vindeffekter och mycket litet av de lövfällande trädens fördelning.

Fördelningsbilden av kalblåsta ytor resp ansamlingar av löv följer nästan helt tolkningsmodellen. Där en luftström styrs ner längs en husvägg, blir det kalblåsta ytor. På motsatta sidan där luften stiger uppåt ansamlas löven. Detta sker nästan alltid i en sträng som ligger något från husväggen, d v s den sekundära virveln hindrar löven från att samlas alldeles inpå väggen. Den största ansamlingen sker således i sammanflödeszonen mellan primär- och sekundärvirvel.

Det finns naturligtvis avvikelser från modellen. Vid a och d på fig 6.1 saknas löv på ömse sidor av gatan, vilket kanske kan bero på att det ändå inte funnits tillräckligt med nedfallna löv i närheten eller på att vindhastigheten av någon anledning skärpts på dessa gator, så att de kunnat hållas rena. Andra avvikelser kan kanske bero på oregelbunden uppbyggnad av husen, vilket borde medföra störningar i strömningen. Detta kan tänkas förklara förhållandena vid b och e på fig 6.1.

På det stora hela är det emellertid i dessa regelbundet formade kvarter en mycket god samstämmighet mellan den karterade lövfördelningen och tolkningsmodellen.

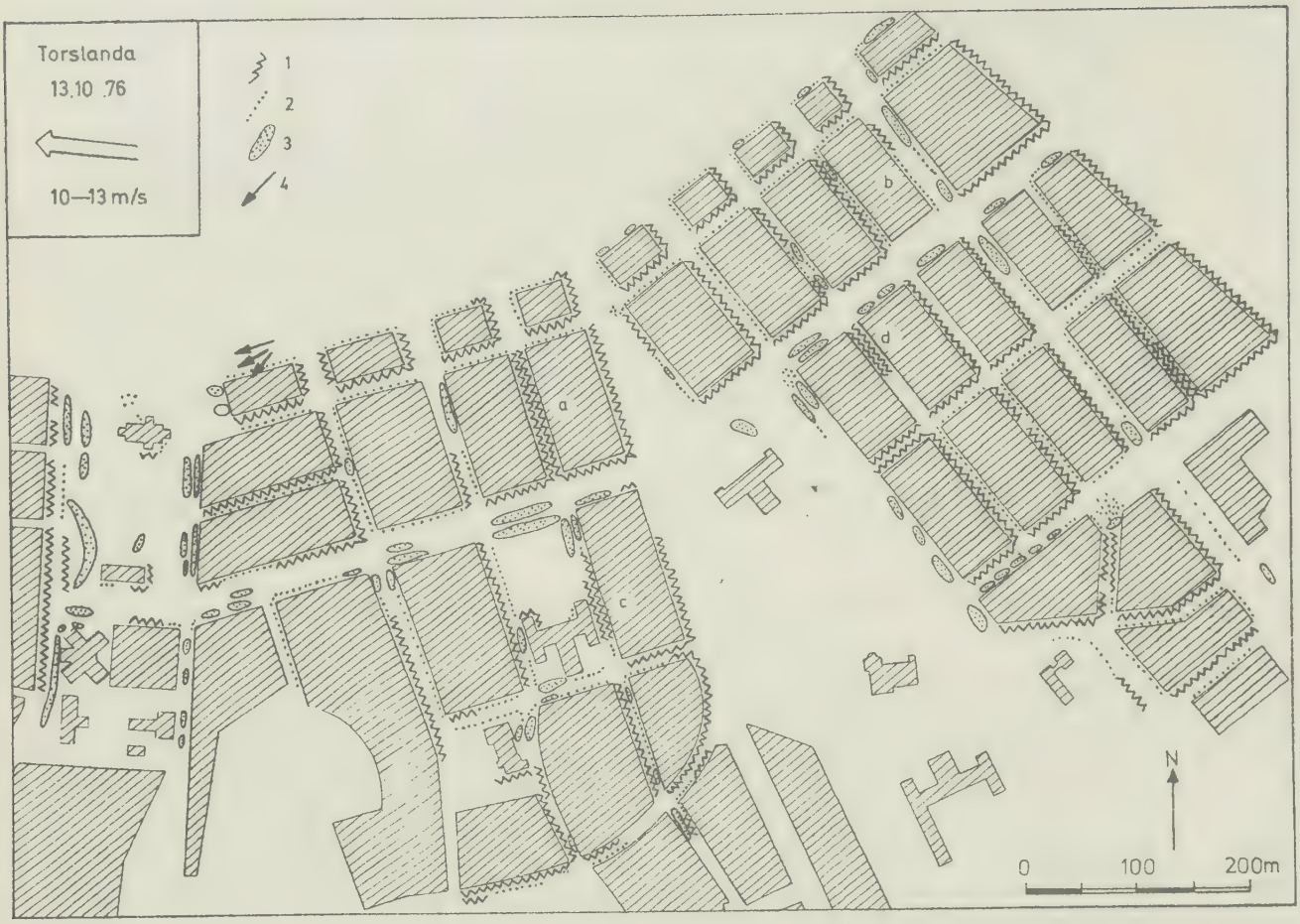


Fig 6.1 Kalblåsning resp drivbildning av höstlöv
1. Kalblåsning
2. Enstaka höstlöv
3. Driva av höstlöv
4. Observerad vindriktning

Clear-swept areas and drifts of autumn leaves
1. Clear-swept areas
2. Single autumn leaves
3. Drift of autumn leaves
4. Observed wind direction

Gårdsten, 1974-06-05, vindrosor

Området ligger på ca 110 m ö h intill bergbranten mot Göta älv. Bebyggelsen är uppdelad av en nord-sydlig dal med skolor och lekplaner. I norra delen finns bebyggelse även på dalbotten.

Östra Gårdsten har långsträckta hus i tre resp åtta våningar. Den fria ytan visade på en vind från V, medan vinden i markplanet mellan husen pendlade kring ostliga väderstreck (fig 6.2.a). Strömningen blev delvis störd av en bergknalle strax väster om områdets södra del. Denna topografiska styrningseffekt märktes mest på lovartsidan av husen (fig 6.2.b). I norra delen tycks

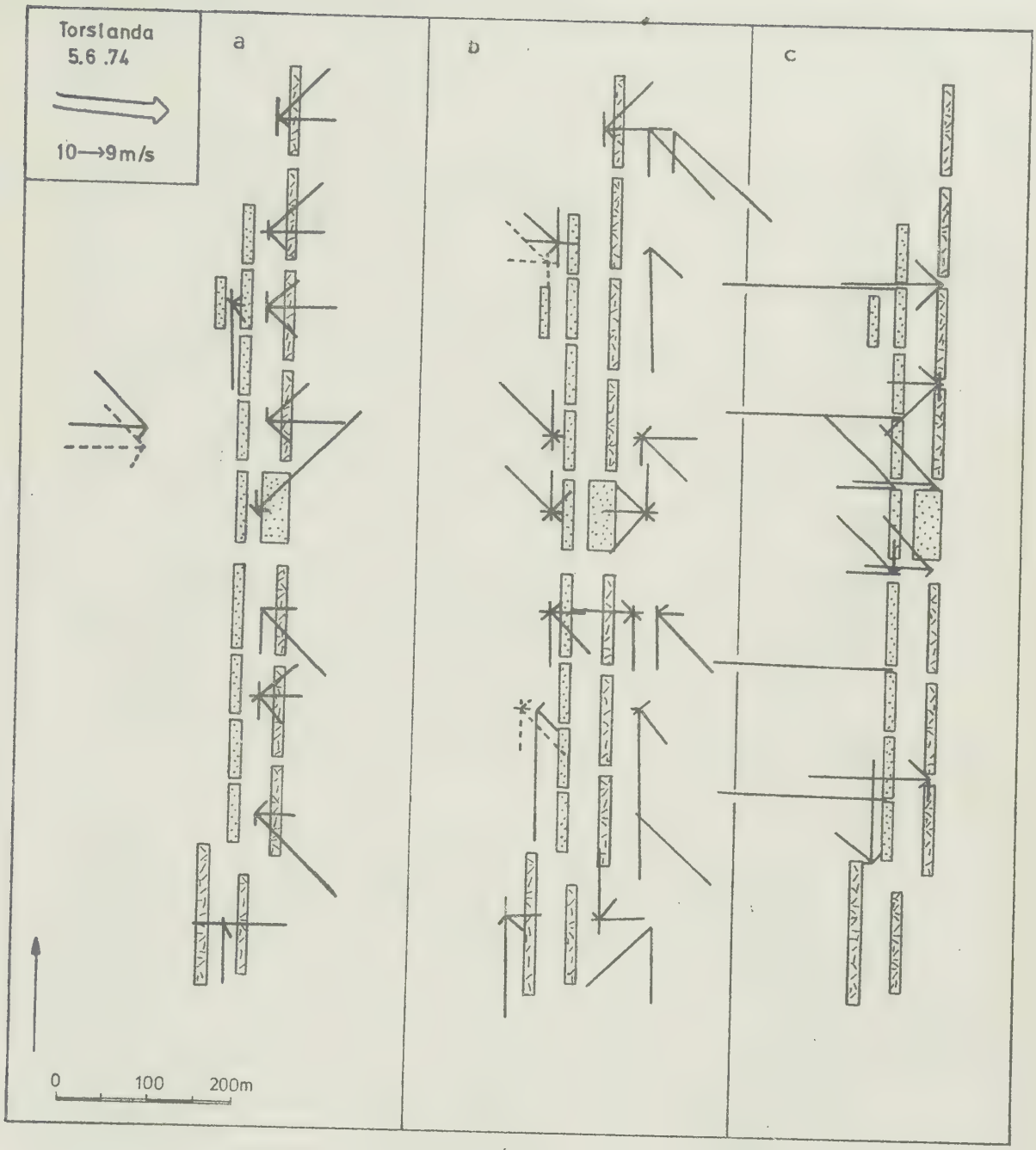


Fig 6.2 Vindrosor i östra Gårdsten a) öppen yta och mellan byggnader b) framför och bakom byggnader c) i trånga passager

Wind roses in eastern Gårdsten a) open areas and between buildings b) in front of and behind buildings c) narrow openings between buildings

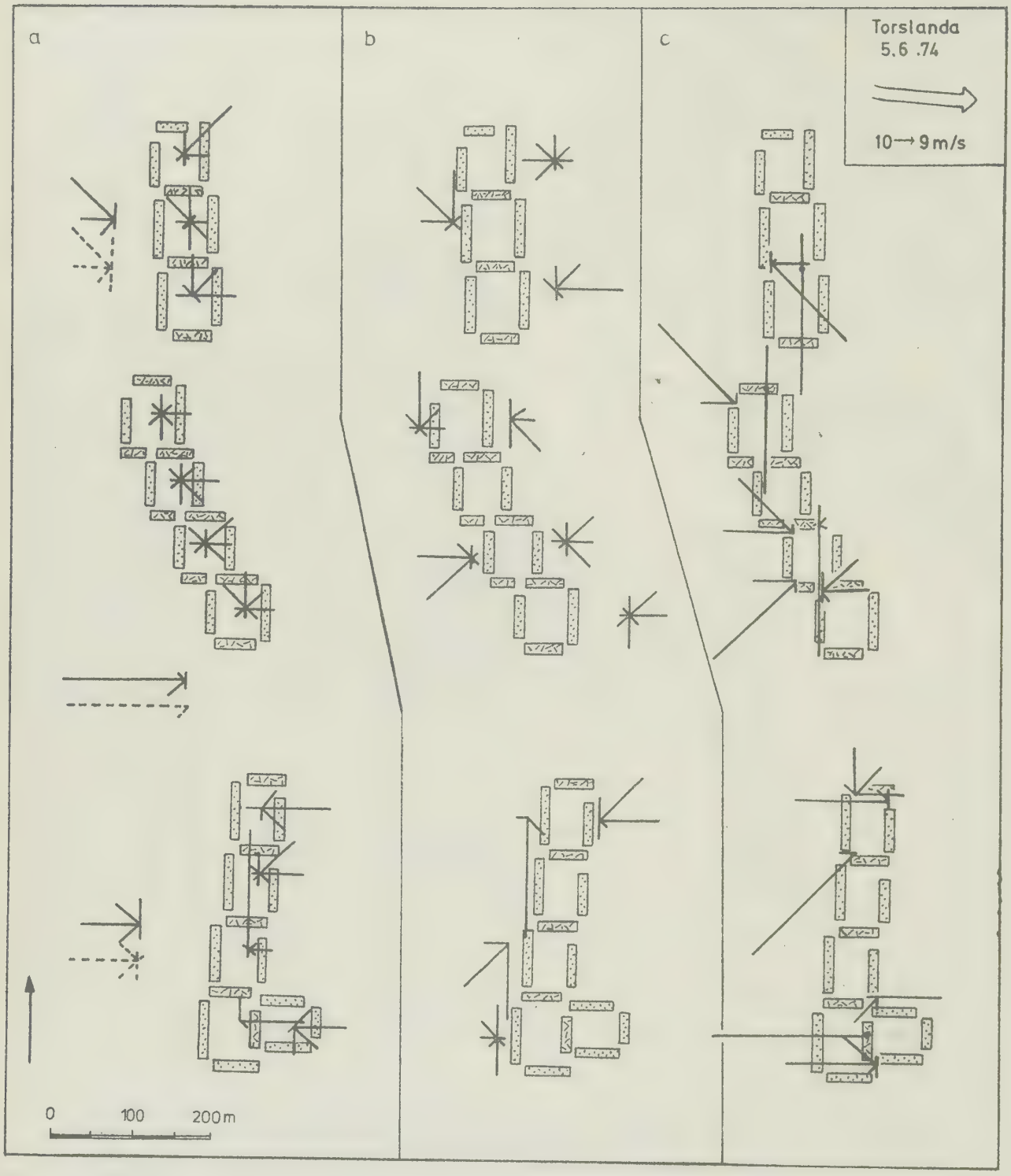


Fig 6.3 Vindrosor i västra Gårdsten a) öppna ytor och mellan byggnader b) framför och bakom byggnader c) i passager mellan byggnader

Wind roses in western Gårdsten a) open areas and between buildings b) in front of and behind buildings c) narrow openings between buildings

den anblåsande vinden vridas över mot NV, med n den i den södra delen vreds mot SV. På läsidan av husen vår det ostadiga vindförhållanden. Detta verkar vara en karakteristisk egenskap för lävirveln - svag variabel vind med en riktning i huvudsak in mot byggnaden.

Västra Gårdsten har hus med tre resp sex våningar. Husen bildar ett glest gårdssystem. Trevåningshusen är orienterade i nord-syd och sexvåningshusen i ost-väst. Den östra delen av sexvåningshusen står på pelare som är nästan lika breda som huset. De tillåter således luften att strömma under den delen av huset.

Vid mätningstillfället visade de öppna ytorna en strömning från V (fig 6.3.a). Mätpunkterna på lovartsidan av husen låg inte så nära husen att lovartvirveln registreras; de tycks ha legat strax utanför sammanflödeszonen (fig 6.3.b). På läsidan registreras lävirveln i de mätpunkter som låg nära husen, medan övriga läsidesmätplatser tycks ha befunnit sig ungefär i det område, där den nedåtgående luftströmmen från lävirveln träffar marken och sprids åt olika håll (fig 6.3.b).

På de glest inramade gårdarna växlade vinden kraftigt, vilket torde bero på dels styrningseffekter från närliggande hussidor (jfr den kvadratiska gården på fig 5.16), dels att luft kan strömma under delar av de ost-västligt orienterade husen.

De trånga passagerna och hörnen (fig 6.3.c) utmärktes liksom i östra Gårdsten (fig 6.2.c) av stabil enhetlig vindriktning.

Västra Gårdsten, 1973-01-07, dimfrostspår

I en högtryckssituation i januari 1973 fördes fuktig luft in över landet med svaga och i huvudsak sydliga vindar. Vid detta tillfälle skapades inte vindspåren genom ett snöfall utan genom avsättning av dimfrost på lovartsidorna på buskar. Dimfrosten började bildas kl 2 på natten och upphörde strax före kl 12 på dagen. Karteringen utfördes på eftermiddagen den 7 januari. Vinden vid Torslanda kom hela tiden från SSO. Vindhastigheten ökade sakta från lugnt till 4 m/s. Temperaturen var under natten -2 - -3°C och steg under förmiddagen till strax över 0°C.

Vindfälten på de tre gårdarna har stora likheter (fig 6.4), vilket ånyo visar stabiliteten hos vindfälten. Tolkningen av vindspåren är dock problematisk. Strömningen domineras av de högre ost-västliga husen. Mot dessa leds en luftström ner i en lovartvirvel så att markvinden på gårdarna kommer från nordliga väderstreck med undantag för den luft som letar sig in under de östliga delarna av husen, vilka står på pelare.

Det som är egendomligt och svårtolkat är vindspårens riktning snett in mot de nord-sydliga byggnaderna. Vindspårens vinkel mot husen är större på västsidan än på östsidan. I gårdarnas mitt visar spåren en strömning från N. En direkt applikation av tolkningsmodellen kan inte ge någon godtagbar lösning.

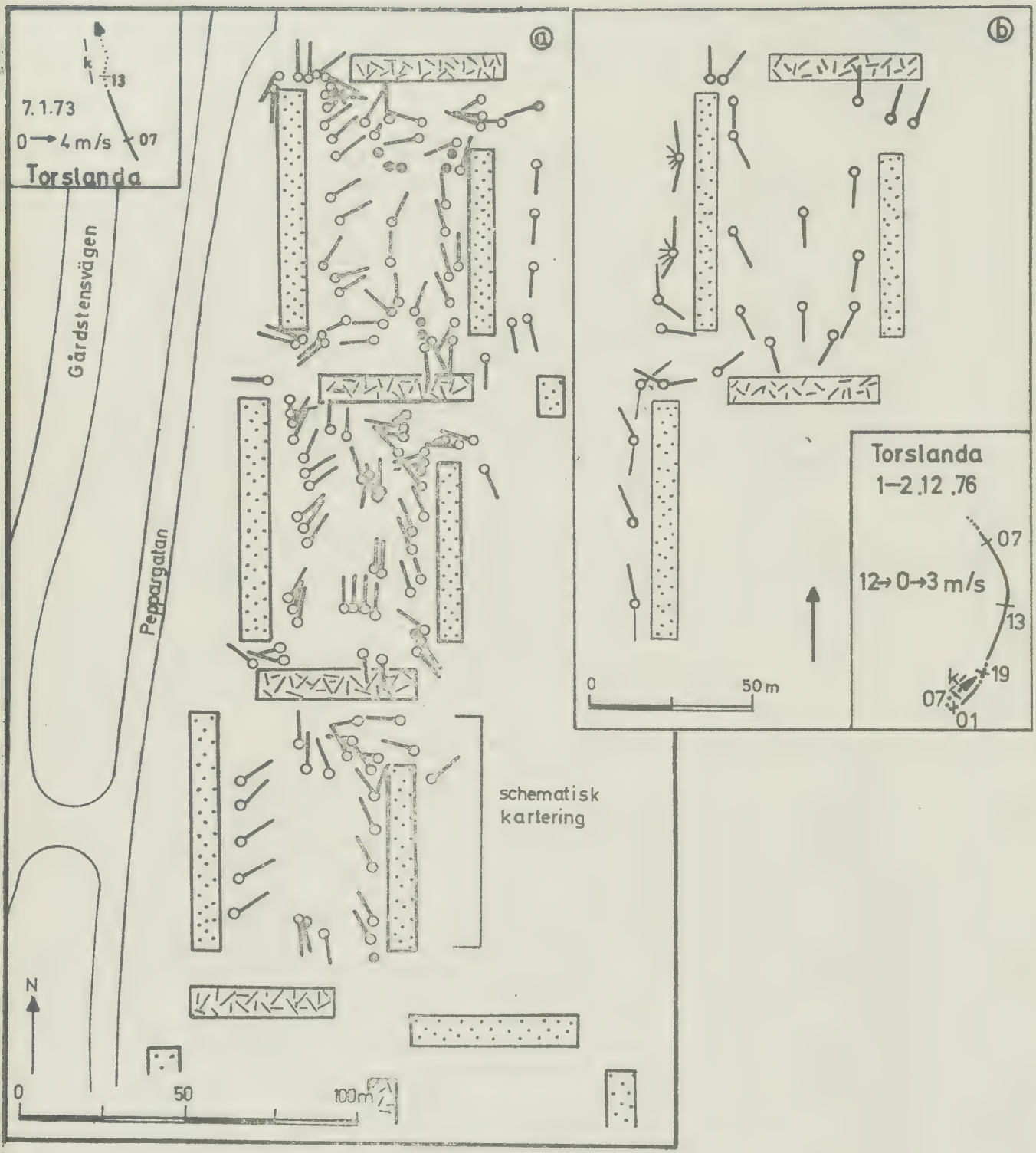


Fig 6.4 Vindspår i Gårdsten a) Dimfrostspår. Strömningen styrs i första hand av de tvärgående högre husen. b) Snöspår som visar samma typ av strömning som dimfrostspåren

Wind tracks in Gårdsten a) Fog deposits. The airflow is mainly governed by the higher buildings in east-west. b) Snow tracks showing the same type of distribution as the fog deposits

En möjlig förklaring till vindspårens riktning snett in mot byggnaderna skulle kunna sökas i att det längs de nord-sydliga byggnaderna finns täta törnrosplanteringar. Detta borde kunna ge en markerad uppbromsning av den svaga vinden längs byggnaderna och en vridning av vindspåren in mot dem på grund av den ökade friktionen. Skillnaden i vinkel mot husen bör rimligtvis bero på den resulterande effekten av lovartspiralen mot de höga husen i ost-väst och tendenser till lovartspiral resp läspiral längs de låga husen i nord-syd.

Genom öppningarna på västsidan strömmar luft in på gårdarna. Vid det nord-östra hörnet strömmar samtidigt luft ut från gårdarna. Detta skulle kunna tolkas som att den styrande vinden snarare skulle ha kommit från SSV i stället för SSO som torslandavärdena visar. Utströmningen av luft skulle kanske även kunna förklaras av att öppningen blir störst i det nordöstra hörnet, eftersom sexvåningshusen står på pelare i sin östra del. Men eftersom bostadsområdet Gårdsten är beläget på en bergrygg med branten ner mot Göta älv i SSV-NNO på ena sidan och en mindre dal i nord-syd på den andra är det troligt, att topografin haft en styrande effekt på luftströmningen. Denna borde således ha antagit en riktning mer eller mindre parallell med Göta älvs dalgång. Med tanke på den svaga vinden är detta än mer rimligt.

Västra Gårdsten, 1977-04-06, snöspår

Ett snöfall med vind från NV (fig 6.5). Snöspåren var av typen lovartstrimmor. Vid de tidigare karteringarna i Gårdsten var basvindriktningen mer längs med bebyggelsen än vid detta snöfall. Den snedare anblåsningsvinkeln torde medföra att det blir en mer komplicerad samverkan mellan husen orienterade i O-V resp i N-S. Vinden tycks ha varit mycket växlande på gårdarna att döma av att i flera observationspunkter har många vindriktningar registrerats. Strömningsmönstret blir därför ytterst svårtolkat.

De högre tvärgående husens styrande effekt kan, liksom i föregående karteringar, spåras på de tre nordliga gårdarna, särskilt i deras sydliga delar. Den sydligaste gården har en något annorlunda utformning med ett sexvåningshus i N-S i stället för O-V, vilket ger en annorlunda strömning över gården.

Gårdsten, träddeformation

I Gårdsten planterades ett stort antal träd när området bebyggdes (huvudsakligen under 1970). De flesta har 1978 en höjd av ca 4 m och en mindre andel den dubbla höjden. Tydlig vinddeformation (stamlutning, mindre och färre grenar på lovartsidan och snedklippta krontak) kunde konstateras redan 1974. Karteringsarbetet utfördes 1974 och 1977. Lutningsriktningarna redovisas i fig 6.6.

På öppet belägna platser visar träden en deformationsriktning från SV. Det finns en antydan till att barrträdens deformationsriktning är vriden ca 15° mer mot söder än lövträdens. Detta

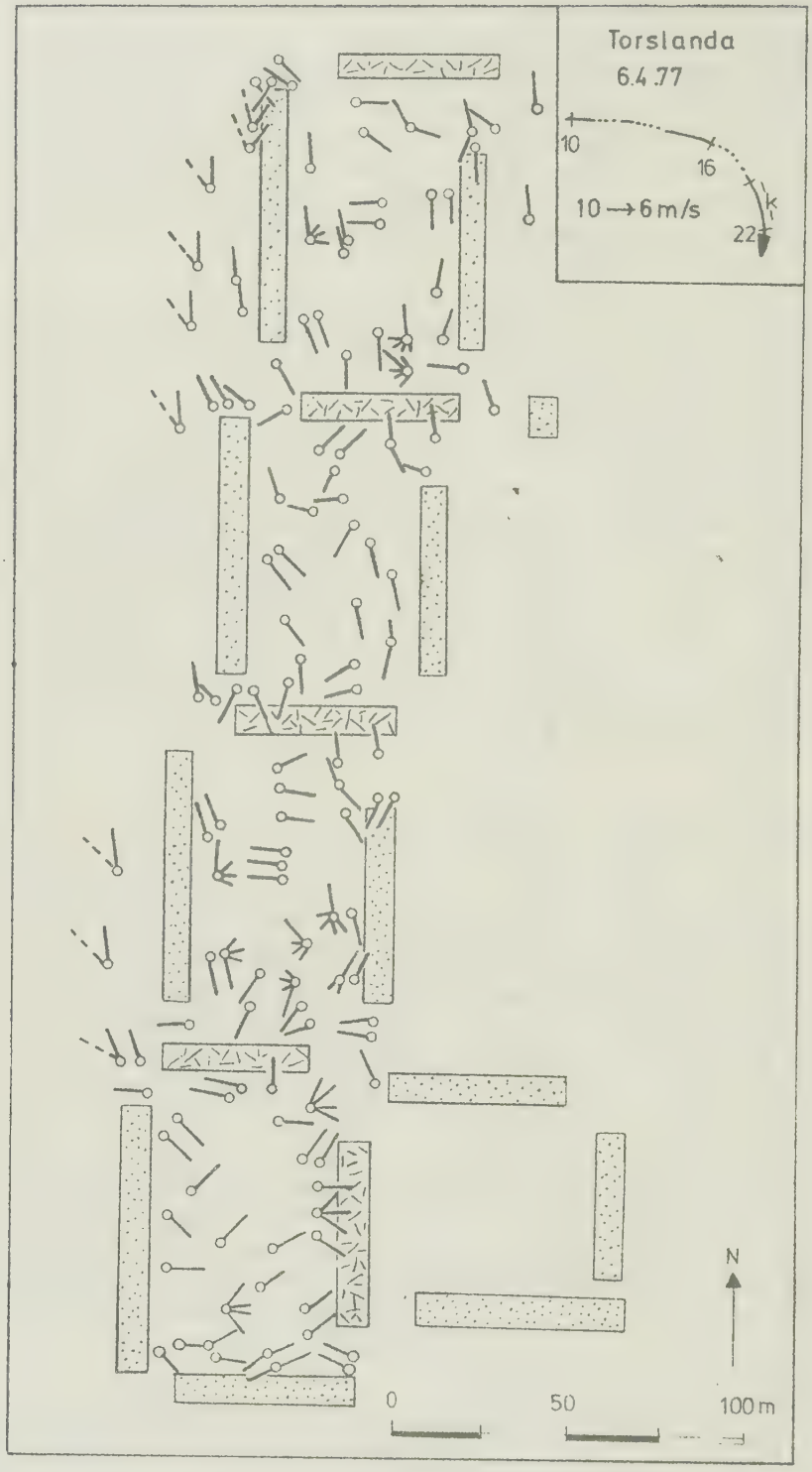


Fig 6.5 Snöspår i Gårdsten, vilka visar en mycket komplicerad strömningsbild. Lägg dock märke till likheten mellan de tre nordliga gårdarna. Den sydligaste gården avviker beroende på den något annorlunda uppbyggnaden.

Snow tracks showing a very complicated air flow pattern. Note however the great similarity between the three northern yards. The southernmost yard deviates due to the different design.

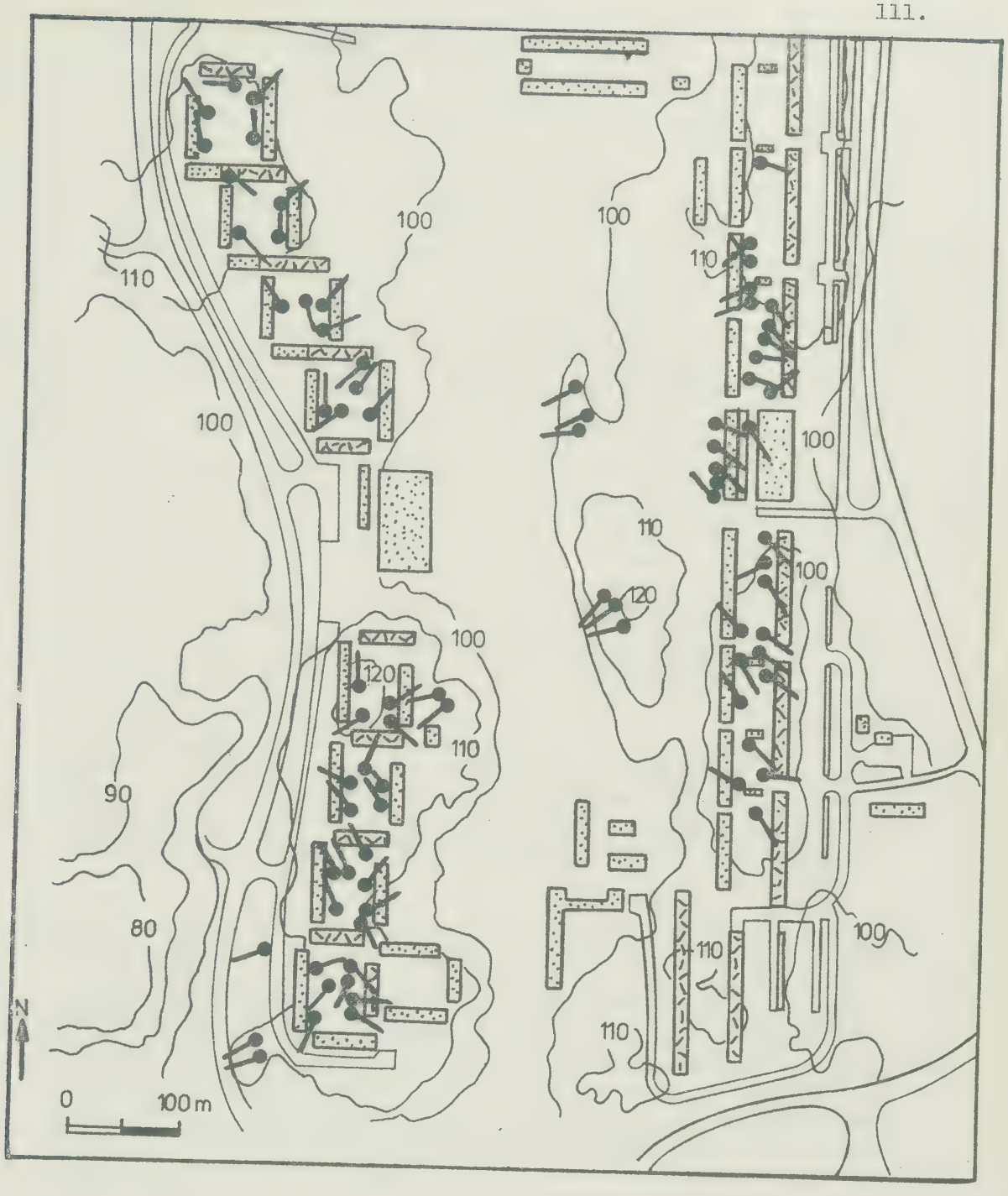


Fig 6.6 Vinddeformerade träds lutningsriktning i Gårdsten
Directions of wind-deformed trees

kan jämföras med att resulterande vindriktning (fig 2.4) för året som helhet har en sydligare riktning än sommarresultanten. I bebyggelsen finns emellertid endast lövträd. Deformationsriktningen i bebyggelsen är måhända inte helt jämförbar med den som kan mätas upp på öppna ytor. Detta beror på att träden på öppna ytor vanligen är äldre än träden i bebyggelsen. Om vinden liksom temperaturen långsamt ändras, kan således resulterande riktning vara olika för träd av olika ålder.

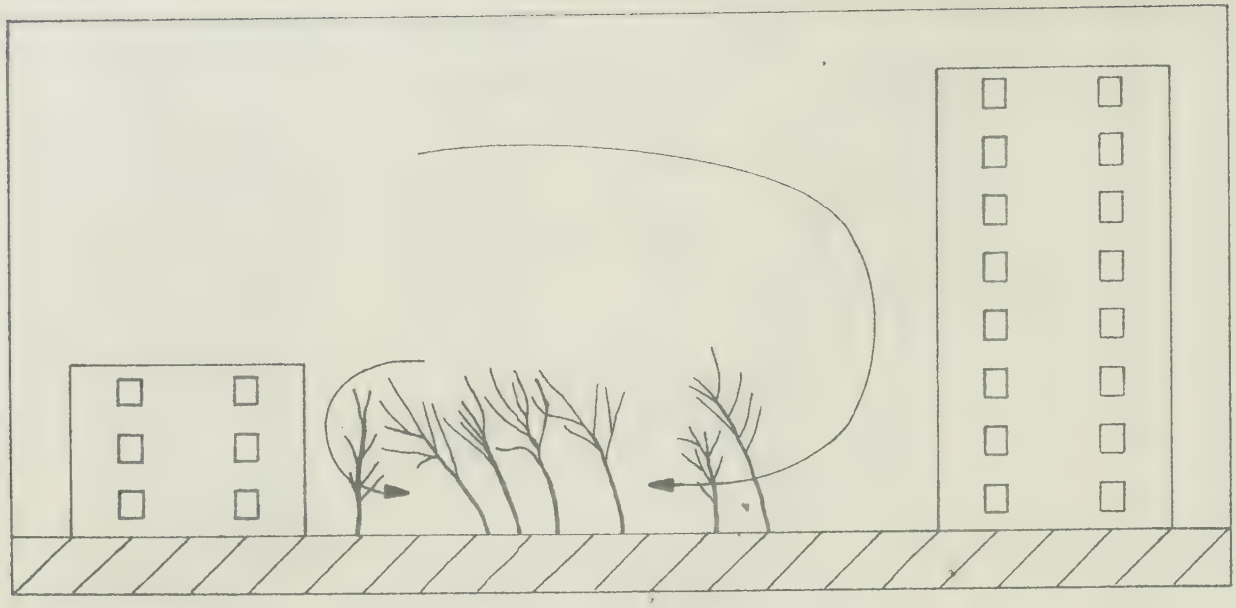


Fig 6.7 De starkast vinddeformerade träden mellan husen i östra Gårdsten

The most wind-deformed trees between the buildings in Gårdsten

I bebyggelsen har träden i många fall blivit utsatta för skadegörelse. Det är därför inte alltid möjligt att urskilja någon vinddeformation. Lutningsvinklarna är dessutom mestadels små (mindre än 10^{o}), vilket försvårar bestämningen av lutningsriktningen.

I östra Gårdsten är deformationen mellan husen relativt enhetlig. Fig 6.7 visar en tvärsektion i den del som har den kraftigaste deformationen. Intill den höga husraden lutar träden mot NV, vilket stämmer väl överens med en genomsnittlig vind över området från SV och spiralvind mellan husraderna. Intill de låga husen lutar träden mestadels åt ostliga väderstreck, vilket kan tolkas på två sätt. Man kan tänka sig en deformerande vind över området från NO. Lutningsriktningarna mot SO tyder ibland på detta. Vind från NO förekommer emellertid mest vintertid, vindhastigheten är oftast låg och dessutom kommer den höga husraden att ligga i lovartläge, vilket inte ger möjlighet till hård vind mellan husen. Det verkar därför rimligare att anta att deformationen intill de låga husen är skapad av en sekundär lovartspiral, vilket ger en stamlutning mot NO. Vinden genom de smala passagerna mellan husen bör dock kunna ge störningar.

Deformationsriktningarna i västra Gårdsten har en svårtolkad fördelning. Ett gemensamt drag för alla gårdar utom den sydligaste är att deformerande vind på gårdarna kommer från nordliga väderstreck. Detta tyder på att de högre husen i ost-väst har dominerande inflytande på gårdarna genom lovartvirvlar, men att de nord-sydliga husen har ett modifierande inflytande. Den sydligaste gården har ett avvikande mönster med sydliga deformationsriktningar, vilket påminner om östra Gårdsten, beroende på det högre huset i nord-syd.

Diskussion av mätningarna i Gårdsten

De parallella husraderna i östra Gårdsten ger upphov till ett enkelt strömningssystem. Avvikelserna gentemot tolkningsmodellen är små. Detta framgår av både vindrosor och träddeformation.

De gårdsgrupperade husen i västra Gårdsten medför däremot att tolkningsmodellen endast i ringa utsträckning direkt kan användas för att förklara vindfälten. Vindrosorna visar att vinden växlar snabbt på gårdarna, vilket också kan utläsas av att många observationspunkter i fig 6.5 har snöspår från många riktningar. Det hindrar emellertid inte att det bildas karakteristiska vindfält. Samstämmigheten mellan de olika gårdarna visar klart detta. Likheten gäller alla typer av observationer (vindrosor, dimfrostspår, snöspår och träddeformation).

Kartering av dimfrostspår (fig 6.2.a) och snöspår (fig 6.2.b) har gett samma typ av vindfält på gårdarna. Detta tyder på att snöspårens riktning nära följer den verkliga vindens riktning, vilket de små dimdropparna kan förväntas göra.

Träddeformationen ger delvis samma typ av vindfält som snö- och dimfrostspåren med virvelbildning mot de högre husen. Intill de lägre husen skiljer sig emellertid riktningarna åt. Snö- och dimfrostspåren visar en strömning in mot husen, medan träddeformationen visar en strömning ut från husen. Den senare luftrörelsen låter sig lättare förenas med tolkningsmodellen. Skillnaden kan möjligen förklaras med olikheter i observationsnivå och underlagets beskaffenhet. Snöspåren bildades i det marknära skiktet, där täta planteringar kan tänkas ha ett modifierande inflytande, medan träddeformationen främst skapas genom vindtryck i trädkronorna.

Johannelund (i Linköping), 1971-12-27--28, snöspår

Stadsdelen Johannelund ligger intill Stångån i den sydöstra delen av Linköping (fig 6.8). Det aktuella området ligger i övergången mellan slätten och det mera kuperade området i söder. Norr och nordost om området saknas bebyggelse. Bebyggelsen i det karterade avsnittet består huvudsakligen av trevåningshus. Den västra tredjedelen bebyggdes på tidigt 50-tal, den centrala i slutet på 50-talet och den östra i början av 60-talet.

I samband med en lågtryckspassage föll snö den 27-28 december 1971. Vinden var före snöfallet V-SV 1-2 m/s men vreds då kallfronten närmade sig över till NO och ökade till 7 m/s. Denna vind höll sig till middagstid den 27 december och avtog sedan till NO 4 m/s kl 19 och försvagades till 2 m/s kl 7 den 28 december och till 1 m/s vid middagen. Vindriktningen var dock hela tiden nordostlig. Snöfallet avslutades på eftermiddagen den 28 december. Temperaturen var före snöfallet +5 - +6°C men sjönk till -1 - -2°C då snön föll. Snöfallet gav 14 mm nederbörd och ett snötäcke av 10 cm. Detta ger en genomsnittlig densitet av 0,14 g/cm^3. Karteringen (fig 6.9) utfördes den 29 december. Vindspår: lovartstrimmor och kalblåsningar.

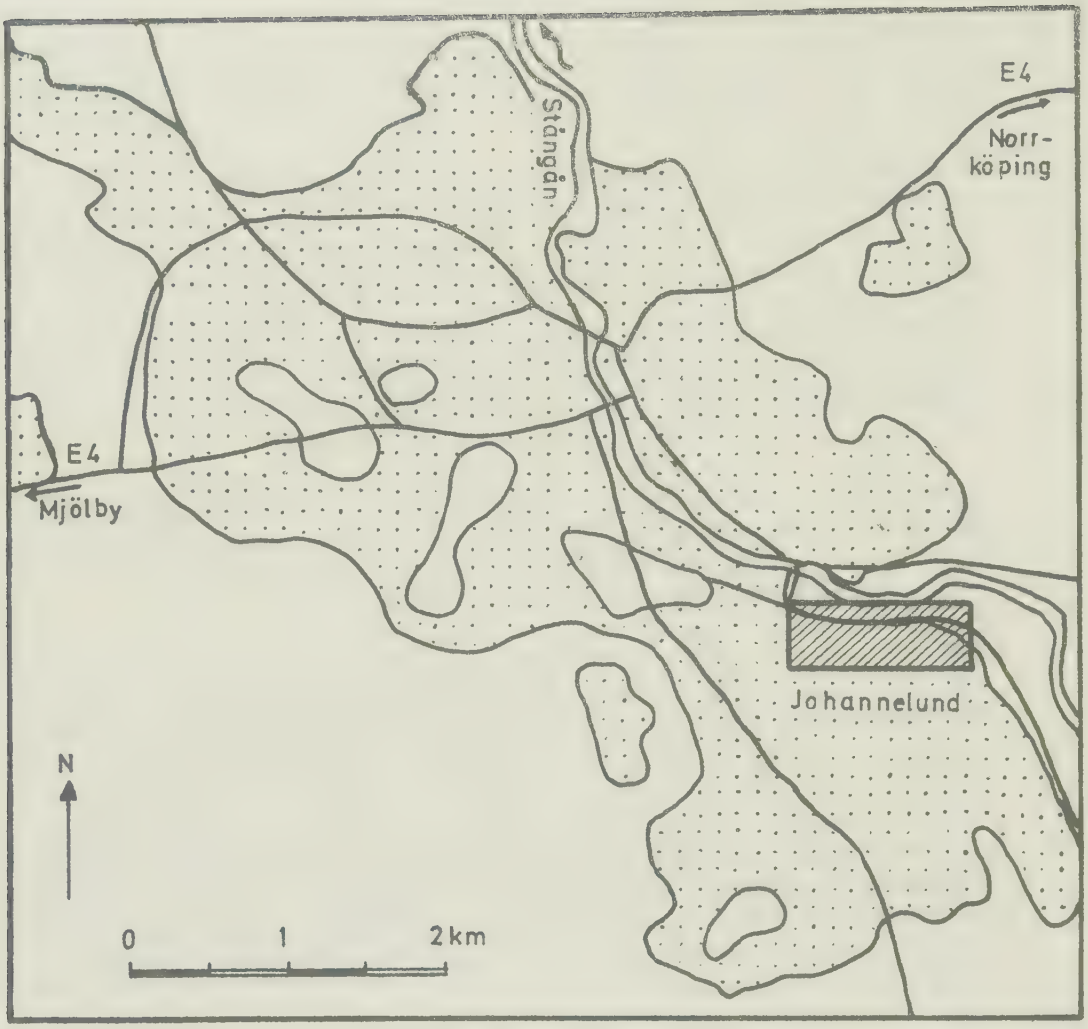


Fig 6.8 Undersökningsområdet (Johannelund) i Linköping
Investigation area (Johannelund) in Linköping

En detaljerad analys av vindfältet ger följande (siffrorna hänvisar till fig 6.9):

1. På den öppna ytan norr om bostadsområdet visar observationerna vind från NNO-NO, vilken då den träffar de första husen bör stockas upp i en lovartspiral. Detta kan observeras i den gradvisa vridningen av vindspåren i husets närhet. Vinden på något högre nivå bibehåller däremot sin riktning, medan lovartspiralens nedre, utgående del samverkar med ingående fri vind till en nettotransport längs husen (jämför med t ex förhållandena på Linnégatan, fig 5.4).

2. Mellan de tre husgrupperna i östra delen bildas spiralvind
3. och på sydsidan om dem läspiraler och hörnvirvlar. De sistnämnda har en något asymmetrisk fördelning beroende på den sneda angreppsvinkeln. Inne på gårdarna dominerar spiralvind. Vid 2, på gårdens sydligaste del, tyder ett par observationer på existensen av ett mer komplicerat förlopp.

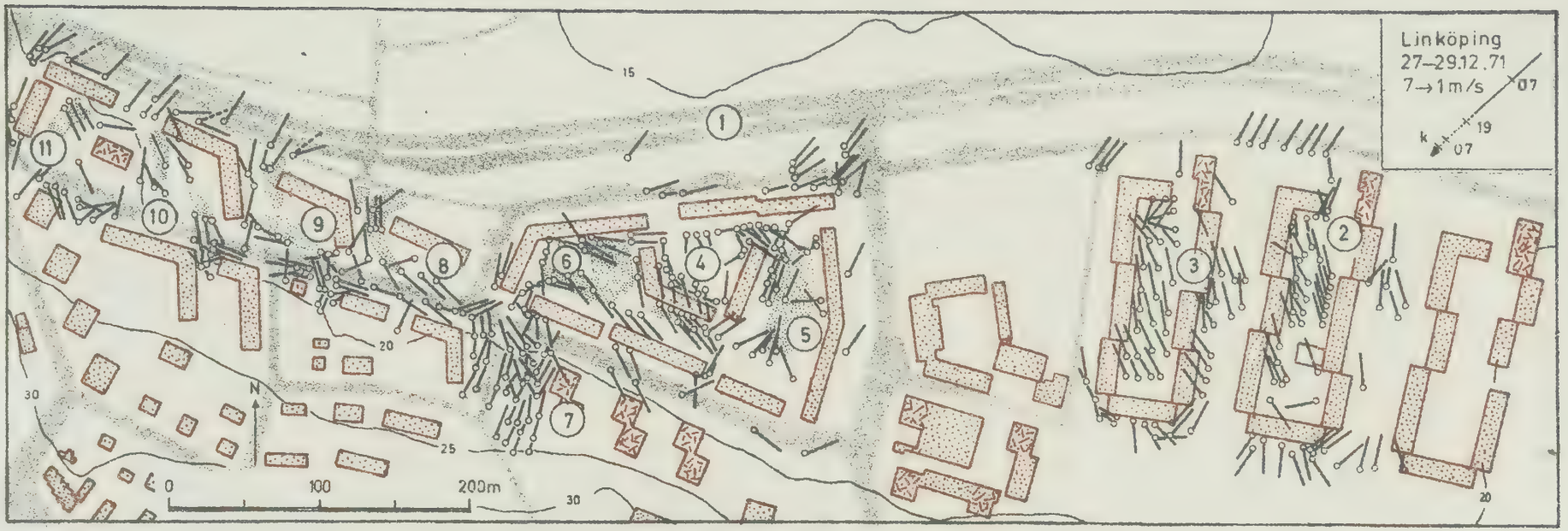


Fig 6.9 Snöspåren visar hur den oregelbundna bebyggelsen ger upphov till ett komplicerat vindfält

Snow tracks showing the complicated windfield created by the irregular buildings

Detta beror troligen på att den låga byggnaden, en livsmedelshall, ger den läeffekt som behövs för att en sekundär spiral skall kunna få sådan dimension att den låter sig karteras.

Även på gårdarnas norra del uppvisar snöspåren olikheter i detaljuppbyggnaden. Då husgruppernas uppbyggnad är lika, skulle man kunna vänta sig att strömningsmönstren också skulle vara lika. Förklaringen torde vara den att omgivningarna ej är lika. Mellangruppen av hus är omgiven av andra hus som med spiralvindar länkar strömningen söderut. Den västra husgruppen gränsar däremot mot en öppen skolgård som ej avlänkar luftrörelsen. Det torde således vara den divergenta luftströmmen och det därav följande dåliga stödet i sidled som gör att en mindre luftmängd pressas in genom den västra gårdens öppning med åtföljande förändring av strömningsbilden.

4. På den lilla gården förekommer läspiral, lovartspiral och hörnvirvel. Längs fasaden på den inre gårdens södra del uppträder dessutom ett par egendomliga riktningar. Längs husets västra del går riktningen väl ihop med övrig strömning på gården. Vid den östra delen av huset har dock vindspåren rakt motsatt riktning. Det skulle kunna tänkas, att denna anomali kan förklaras med att en luftström nära husväggen dras mot öppningen i vinkeln mellan husen.

5. En hörnvirvel bildas vid öppningen mot nordost. Längs byggnaden i öster finns troligtvis en läspiral, även om det inte fanns tillräckligt antal lämpliga föremål som kunde registrera detta tydligt. Dominerande för den östra delen av ytttergården är i övrigt strömning ungefär i huvudvindriktningen. Vinden kanaliseras av de längsgående husen och vindhastigheten tycks bli betydande, vilket framgår av den stora kalblåsta ytan. Mot husraden i söder borde en lovartvirvel bildas, men den har tydligen inte så stora dimensioner, att den framträder i vindspåren närmast huset. Läspiralen bakom östra huslängan och öppningen i sydöstra hörnet styr en del av luftströmmen mot SO. En annan del dras ut mot väster och uppgår i en spiralvind av större dimensioner mellan husen.

6. I nordöstra delen kan man observera en läspiral och i den sydöstra en lovartspiral. I den västligaste delen går luften tydligen i en stor horisontell virvel. Man kanske även skulle kunna beskriva luftrörelsen på den inre gården (4) som en horisontell virvel? Genom vindstötar (?) får den horisontella virveln på västra gården troligen ett pulserande förlopp, eftersom det på nordsidan förekommer stolpar som registrerar två vindriktningar - dels läspiralen, dels återströmningsdelen av den horisontella virveln. Att vindhastigheten åtminstone tillfälligt varit hög, framgår även av den stora kalblåsningen på gården. Det skulle ha varit intressant med en observation av vindriktningen på det stora kalblåsta partiet, eftersom det i lä av inre gårdens hus går en luftström från SO. Där hade man kanske förväntat sig vindspår från NV av en läspiral.

I det sydvästra hörnet letar sig en del av luften ut genom passagen och bildar en hörnvirvel på gatan utanför. Gatan har för övrigt spiralvind.

7. I ett litet skogsparti förekommer på åtskilliga träd två distinkt skilda riktningar med en vinkelskillnad på 40-50°. Man kan tänka sig tre förklaringar till förekomsten av dessa dubbla vindspår. Det kan vara en snabb vindändring under snöfallet eller ett uppehåll i snöfallet medan vinden ändrades. För det tredje kan man söka förklaringen i bebyggelsens sammansättning på så sätt att den skapar ett pulserande system där luften från än den ena än den andra riktningen släpps fram, medan den andra blockeras. Eftersom de visserligen fåtaliga vinduppgifterna inte visar någon ändring av vinden under snöfallet tycks det tredje alternativet vara det rimligaste.

8. I den västliga tredje delen av det karterade området visar
9. vindspåren på en komplicerad strömningsbild. Det förekommer
10. skarpt markerade vindspår riktade rakt mot varandra. Kalblåsningar tyder på åtminstone tillfälligt höga vindhastigheter. Det förefaller mig inte vara möjligt att dessa vindspår kunnat bildas samtidigt. Kan det ha varit en vindändring under snöfallet? Spår av ändrad huvudinriktning saknas i den östra delen av det karterade området, trots att där finns skyddade positioner där sådana borde ha kunnat bevaras. Dessutom stöder inte de tillgängliga vinduppgifterna någon vindändring.

Ett pulserande vindsystem som medgett bildandet av vindspår från än det ena än det andra hållet under hela snöfallet ger en nöjaktig förklaring till vindspårsbilden. Men vad skulle då vara orsak till detta systems uppkomst? Förutsättningen torde vara att en del av husen är byggda i trubbiga vinklar. Om byggnaderna endast bildat två parallella husrader, borde det ha bildats spiralvind mellan dem med vindspår från SV. Sådana spår finns också. Mot de vinklade partierna bildas emellertid lovartspiraler och bakom dem läspiraler. Dessa bildar luftströmmar som är rakt motsatta spiralvinden längs de synliga husen i VNV-OSO. Särskilt vid 9, d v s mellan två vinklade hus, blir luftströmmen från NNV kraftig. På grund av vindens byighet (variationer i hastighet och kanske även i någon mån riktning) kommer det ibland att bildas ett trycksystem som emellanåt skapar en spiralvind längs husen i VSV-ONO, medan det stockas upp luft mot de tvärgående husen och omvänt. De relativt breda öppningarna i norr mot gräsplanen vid Stångån borde medverka till att luftströmmar med kraft kan pressas in och överflygla spiralvinden längs Risbrinksvägen.

11. I den allra västligaste delen av området finns inte något trubbvinklat hus. Där finns inte hellar samma komplexa strömningsmönster. Vindspåren låter sig här förklaras med hörnvirvlar, lovart- och läspiraler.

Topografins inverkan på vindriktningsfältet

Vid tolkningen av vindfälten i bebyggelsen i föregående avsnitt har vindriktningen över bebyggelsen kunnat anses vara samma över hela området. Så är inte alltid fallet, utan topografin kan medföra kraftigt avvikande vindriktningar i olika delar av ett område.

Lärjedalen, 1973-02-15--16, snöspår

Vid Gunnilse i Lärjeåns dalgång nordost om Göteborg karterades snöspår i februari 1973 (fig 6.10). Det karterade området är beläget i den ost-västliga dalgången kring Lärjeån, som meandrar sig fram nerskuren i fjordsedimenten. Kartan visar ett område som sträcker sig från norra dalsidan och nästan tvärs över hela dalens bredd. Vegetation finns längs ån (al) och på den uppstickande bergklacken (ek). Bebyggelsen är huvudsakligen glest liggande 1 1/2-plans äldre villor kring den gamla stationen vid den nu nedlagda Västgötabanan.

Snöfallet började kl 19 den 15 februari och fortsatte ett dygn. Intensiteten växlade något. Från kl 11 den 16 februari var det vissa korta uppehåll i snöfallet. Under hela snöfallet kom vinden stabilt från NNO. Vindhastigheten sjönk sakta från 9-10 m/s till 4-5 m/s. Temperaturen var över fryspunkten (1-2°C). Snöfallet gav en nederbördsmängd på 3 mm. Något snötäcke bildades ej. Karteringen ägde rum vid middagstid den 16 februari. Vindspår: lovartstrimmor.

Vid den markerade norra dalsidan mot Vättlefjälls skogstäckta platåområde (alldeles norr om det karterade området) vrids vinden till dalens riktning via en läspiral (1). Detta framgår av att vinden vid marken och på några meters höjd inte sammanfaller. Längs vägen mot sydsydost vrids vinden tillbaka mot strömning i basvindens riktning (2).

Kring den lövskogsbevuxna kullen i söder (3) vrids luftströmmen på lovartsidan mot N (4) och strömmar på läsidan samman (5) med en luftström som går väster om kullen (6). Avvikelserna i riktning är större vid marken än på något högre höjd.

Karteringen visar att topografin kan orsaka rejäla ändringar av strömningen genom vridningar. Men om topografin får branta former kan det även bildas spiralvind. Detta framgår av vindspåret vid (7), vilket antyder en lovartspiral och vid (1), där spåren tycks visa en läspiral.

Välsviken, 1976-05-18 och 23, vindrosor

Välsvikenområdet ligger strax öster om Karlstad på sluttningen ner mot Vänern. Området undersöks på allehanda sätt inför en eventuell framtida resurssnål bebyggelse av Centrum för tvärvetenskapliga studier av människans villkor. Som ett led i

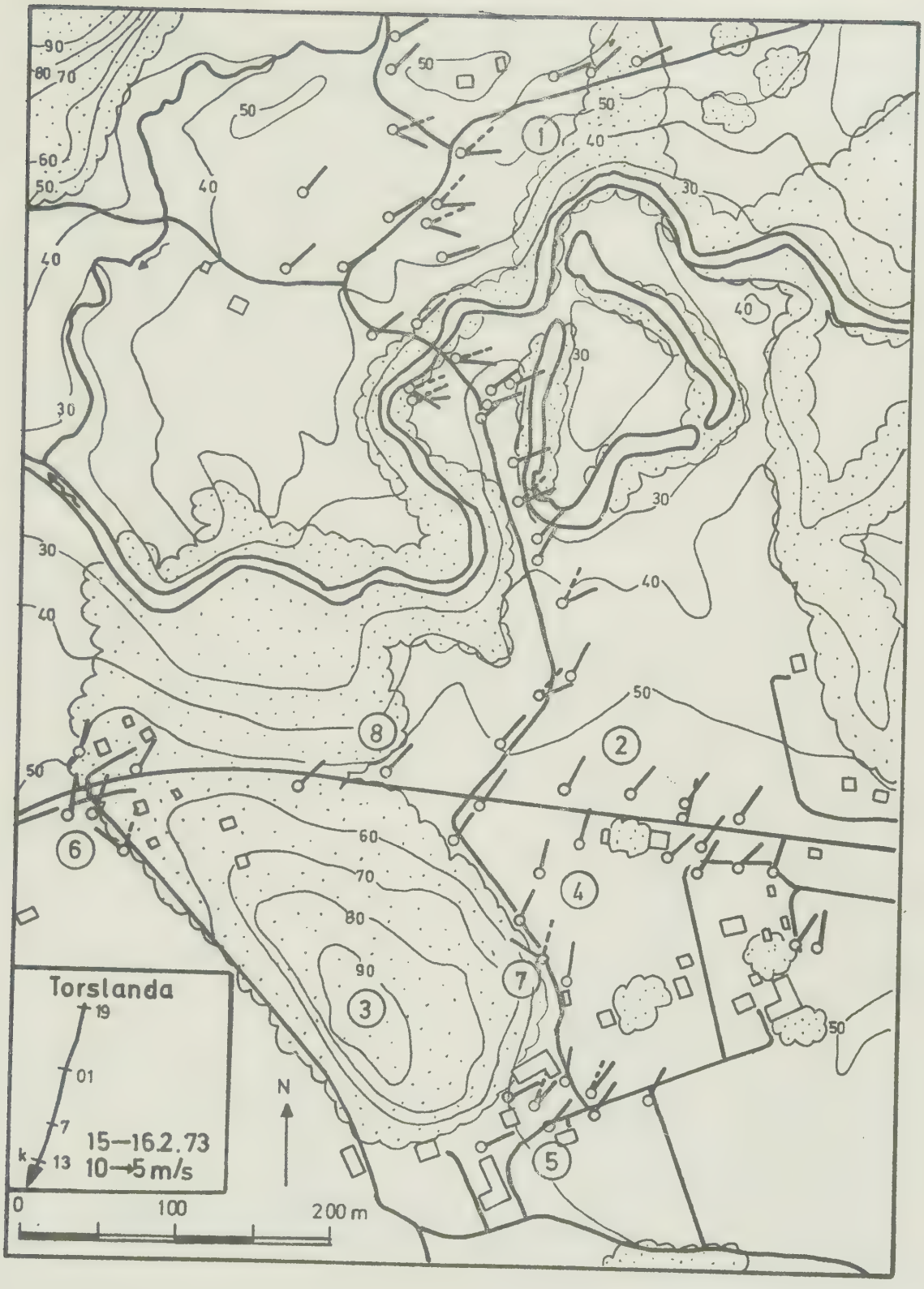


Fig 6.10 Topografiskt styrda snöspår i ett område nästan utan bebyggelse vid Gunnilse

Snow tracks influenced by the topography in an area almost without buildings

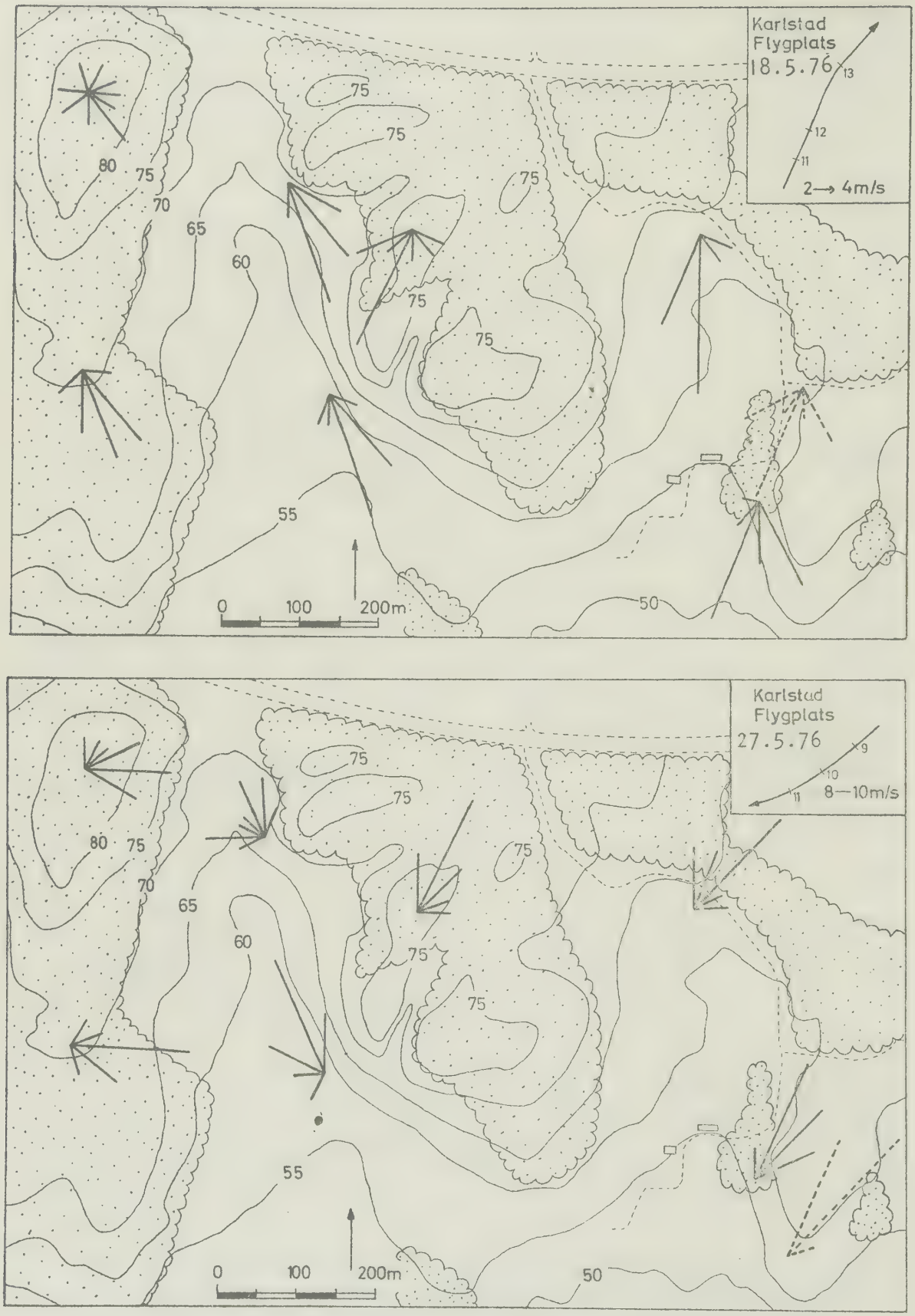


Fig 6.11 Topografiskt styrda vindrosor vid Välsviken i Karlstad (efter mätningar av Siby 1977)

Windroses influenced by the topography (measurements by Siby 1977)

detta utfördes också vindmätningar (Siby 1977). Fig 6.11 visar några av hans uppmätningar.

Vindriktningsfälten visar avsevärda riktningsvariationer. Den 18 maj kom basvinden från SSV. Samma vindriktning återfinns vid den relativt fritt belägna mätpunkten vid gården i sydost. Bergspartierna och dalgångarna stryker i NNV-SSO. Vinden vrids av dessa terrängformer till S eller t o m SSO. I det sistnämnda fallet är bergssidan så brant att man kan förmoda att det bildas en lovartspiral mot den, eftersom vinden delvis ändrats mer än till dalens riktning.

Den 27 maj hamnar samma dal och bergsida i lä för basvinden, som även denna gång stämmer överens med vindriktningen vid gården. Vinden följer i stort den västra dalgången. Inslaget av västliga vindobservationer ger dock anledning att förmoda, att det inte bara är fråga om en vridning utan även en spiralvind.

Centrala Göteborg, 1972-11-06, flaggor

För att se om någon topografisk styrning av vinden ovan hustaken kan påvisas genom direkta observationer företogs en kartering av vilka vindriktningar flaggor på hustaken visade (fig 6.12). Trots att en allmän flaggdag valdes, visade det sig vara brist på flaggor i de stadsdelar där snökarteringarna utförts. I stället karterades ett område i centrala Göteborg, inom Vallgraven, där det fanns flera officiella byggnader som flaggade.

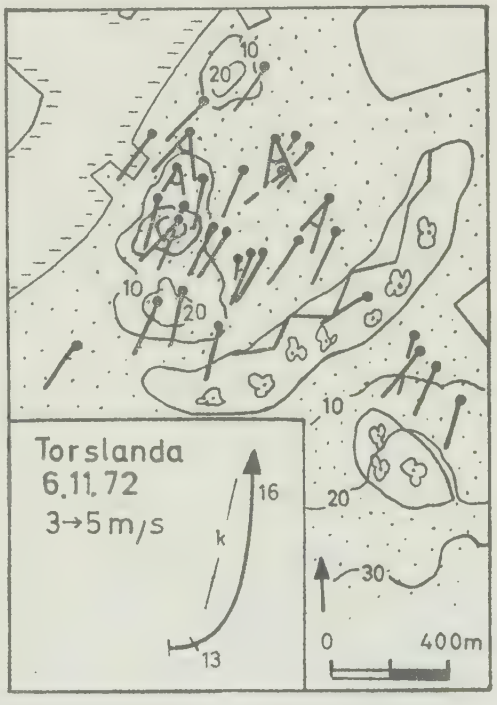


Fig 6.12 Vindriktningen strax ovan hustaken enligt flaggor på taken

Wind directions above the roofs according to observations of flags

Vid observationen av en flagga förflyttade jag mig, tills jag befann mig rakt i lovart eller lä om flaggan. På detta sätt borde felen i riktning bli minsta möjliga.

Vinden, som 1-2 timmar före karteringen varit V 2 m/s, ökade under karteringen från SSV 3 m/s till SSV 5 m/s.

Kartan visar relativt oregenbundna spår, vilket inte är ägnat att förvåna, eftersom varje flagga observerades under kort tid. Det finns således en betydande risk att korttidsfluktuationer registrerats. Det framgår emellertid klart, att det i nivån strax ovan hustaken kan förekomma betydande avvikelser i vindriktning. Avvikelserna torde ha orsakats på två sätt, dels genom en uppdelning av luftströmmen kring bergspartierna och med oroliga förhållanden på läsidan, dels genom strömning längs älven och kanske även längs parkområdet vid Vallgraven.

Förmodade avvikelser i vindriktningarna strax ovan hustaken

Vid tolkningen av de enskilda karteringarna har vindspårsfördelning eller vindrosor ibland inte verkat rimliga, om man inte tänkt sig att vinden strax ovan hustaken varit avvikande från basvindriktningen. I detta sammanhang måste man hela tiden ha den enkla tolkningsmodellens begränsning i oregelbundna husgrupperingar i minnet. Men även med beaktande av detta blir det ibland situationer, där en avvikande vind strax ovan hustaken ger de rimligaste möjligheterna att förklara strömningsbilden i markplanet.

Det är emellertid inte nödvändigt att skillnaderna i riktning behöver ha uppträtt samtidigt i området. För snöspårens del gäller ju att den totala tiden för snöspårsfördelningens uppkomst oftast är lång. Däremot är det fullt tänkbart att de enskilda snöspåren bildats relativt snabbt. En basvindändring under snöfallets gång borde då medföra att i lägen, som med nya basvindriktningen kommer i lä, kommer snöspår skapade av den äldre basvindriktningen att bevaras, medan de i andra delar av området förstörs av den yngre basvindens spår. Resonemanget är analogt med hur äldre isströmningar i en landis kan bevaras på läfasetter.

På de följande kartorna har den förmodade lokalt styrande vinden strax ovan hustaken lagts in med stora rutmönstrade pilar.

Heden-Lorensberg-Vasastaden-Haga, 1971-03-10--11, snöspår

Ett intensivt lågtryck, som den 10 mars hade sitt centrum vid Vänern, förflyttades mot sydost. Efter kallfronten följde kraftiga nordliga vindar. Snön föll i oregelbundna byar. Första snöfallet, vars spår av allt att döma helt utplånades senare, började kl 13 den 10 mars och fortsatte 3 timmar. Vinden var SV 10-14 m/s. Kl 18 startade en ny 3-timmarsperiod med snöfall. Vinden hade nu vridit över till NV och senare till N 8-11 m/s. Efter detta snöfall ökade vinden

till N 12-15 m/s. Vid midnatt började det ånyo snöa ett 3-timmarspass. Vinden vreds under denna tid från N till NNV 13 m/s. Under natten klarnade det och vinden vred tillbaka till N, medan hastigheten sjönk till 7 m/s. Vinden hade sedan snöbyarnas början varit mycket byig med vindstötar på 15-24 m/s.

Sammanlagt gav snöfallen 5 mm nederbörd, vilket på förmiddagen den 1 mars kunde uppmätas till ett snötäcke på 2 cm. Snöns densitet skulle således vara ca 0,25 g/cm^3. Den höga densiteten tyder på att snödrev förekommit, vilket medfört att snökornen rundats av och packats av vinden (Flemming 1968). Vid snöfallets början var temperaturen strax ovan 0°C. Den sjönk sedan kraftigt under natten till -10°C och steg under förmiddagen den 11 mars till -2°C.

Karteringen (fig 6.13) utfördes på förmiddagen den 11 mars. Den skiljer sig från flertalet karteringar genom att den utförts med ett glesare nät av observationer, men i gengäld täcker karteringen en större yta. Vindspår: 'vindkanaler' och strierade snöytor (i Allén).

Före diskussionen om var och varför avvikelser i styrande vind ovan hustaken förekommit, måste snöspåren tolkas tämligen noggrant. På grund av de glesare observationerna blir tolkningarna ibland spekulativa, då de stöds av endast enstaka spår.

1. Vind längs gatan.

2. Vindspår, som närmast tyder på en vind ovan hustaken från
3. VNV. Sådan vind har endast helt kortvarigt förekommit. Därför bör det ha förekommit åtminstone någon topografisk styrning av vinden orsakad av Skansberget (3). Det är däremot diskutabelt om spåren uppkommit under NV-vinden på kvällen den 10 mars eller om de bildats av den kraftiga N-vinden under natten. I det senare fallet rör det sig om en markerad avlänkning av vinden.

4. Spiralvind i Allén, vilken även den pekar på en strömning
5. ovan hustaken från NV. Frågeställningen blir samma som ovan:
6. bevarat vindspår eller stark topografisk vridning genom bergklacken (5) i norr? Kanalen, vid (6), borde verka styrande och stabiliserande på vinden, vilket alternativ som än är det riktiga.

7. Ett vindspår som liksom spåret 100 m längre österut tyder på en vind från NO. Sent utvecklade vindspår eller topografisk vridning?

8. Vindspår på den öppna ytan som visar strömning från N.

9. Mot byggnaden bildas en lovartspiral som vrids runt hörnet mot Hagakyrkan.

10. På den öppna ytan norr om byggnaderna kan man se hur vindspå-
11. ren gradvis ändrar riktning, ju närmare husväggen man kommer.

Fig 4.13 Snöspåren indikerar i områdets västra del att vinden ovan hustaken vrids avsevärt på grund av topografin

The snow tracks indicate in the western part of the area that the wind above the roofs is turned considerably due to the topography

De nordligaste vindspåren kan vara bildade sent av vinden från NNO. Eller också beror riktningen på en begynnande vridning orsakad av sammanflödet med markvinden från lovartspiralen på samma sätt som beskrivits tidigare men som här kanske framstår än tydligare. Lovartspiralens storlek verkar vara större än vid tidigare tillfälle den diskuterats. Detta borde vara en följd av den högre vindhastigheten under detta snöfall. Vindförhållandena i sammanflödeszonen bör vara mycket växlande, eftersom en vindstöt i den fria strömningen bör ge upphov till en kraftigare markvind strax efter i lovartspiralen. Ett pulserande förlopp borde således kunna uppkomma. Förekomsten av vindspår med dubbla riktningar stöder denna tanke.

12. Mot Handelshögskolan finns spår som visar en lovartvirvel som dragits ut i spiral åt båda sidor. Spåren skulle kunna tolkas som skapade genom vindvridning från NV till NNO. Men dels är det litet svårt att förklara varför inte alla spår omformats efter senaste vind, dels förekommer liknande spridning av vindspår på flera karteringar, där det inte funnits motsvarande vindvridning. Utåtvridningen beror således snarast på byggnadens ringa längdutsträckning och möjligheterna för luften att lätt strömma längs gatorna på ömse sidor om byggnaden.

13. Spiralvind på Vasagatan. Mitt för bergklacken som skjuter
14. fram mot gatan (14) är vindspåren nästan vinkelrätt orienterade mot gatan. Det är visserligen bara en enda observation, men tillsammans med alla andra avvikande vindspår vid andra vindriktningar i höjd med bergklacken bidrar den till att visa, att detta är en märklig plats ur vindsynpunkt (jfr fig 5.3).

15. Hörnvirvel i Vasagatans korsning med Karl-Gustavsgatan. Läspiralen på skolgården visar mindre vinkel mot VAsagatan än på ömse sidor, där det är bebyggelse även på sydsidan.

16. Spiralvindar längs de båda korsande gatorna.

17. Spiralvind längs såväl Vasagatan som den korsande Avenyn. Spåren i Vasagatans mitt löper parallellt med gatan. Detta kan kanske tolkas som sammanflödeszonen mellan primär- och sekundärspiralerna. Jämfört med tidigare observationer verkar den sekundära spiralen vara något större, vilket borde kunna bero på den högre vindhastigheten.

18. Vid Götabergsgatan i NNV-SSO bildas hörnvirvlar vid korsningarna med tvärgatorna. Längs gatan bildas även en läspiral.

19. Mot kyrkan bildas en kraftig lovartvirvel.

20. Strömning längs byggnaderna. Spåren befinner sig troligen i sammanflödeszonen mellan lovartspiralen och markvinden över den öppna ytan. Spåren torde knappast vara en rest av tidigare NV-vind, eftersom det senare läget i en lovartposition inte ger något skydd.

21. Vindspåren från NV torde visa på spiralvind mellan husen och de nordligt orienterade vindspåren tyder på övergång till strömning över Hedens öppna yta. Eventuellt skulle de kunna markera solfjädersformig spridning vid lä-ändan och kanske kunna vara äldre spår från NV-vind.

22. Läspiral (22) och lä/lovartspiral (23). Däremellan spår
23. av fri nordlig strömning.

24. Spiralvind längs Berzeliigatan.

25. Spiralvind längs Södra Vägen. Spåret parallellt med gatan torde bero på läget nära korsningen med den nord-sydliga gatan.

26. Strömning från N. Lovartspiral mot den till öster liggande byggnaden. Alldeles väster om detta spår finns ett som anger vind från NV. Detta skulle kunna vara en rest från den tidiga NV-vinden. Läget är dock oskyddat för N-vind, så det verkar litet egendomligt.

I de östra två tredjedelarna av området har det inte funnits anledning att förmoda att det varit annat än en likartad vindriktning över bebyggelsen. Däremot ger, med den använda tolkningsmetoden, avvikande vindriktningar ovan hustaken rimligare tolkningar i den västra tredjedelen av området. I de östra delarna saknas nämnvärd topografi inom det karterade området och även norr därom. I den västra delen finns däremot några markerade bergklackar. De förmodade avvikelserna passar väl in på en uppdelning av luftströmmen på lovartsidan och sammanflöde på läsidan på det sätt som karteringarna av snöspår i Gunnilse och av flaggriktningar i centrala Göteborg samt även av de direkta observationerna i Välsviken visar. Men har det verkligen varit en samtidig och således avvikande strömning? Vindförhållandena vid Torslanda ger ju anledning att tro, att luftströmmarna kunnat förekomma vid olika tidpunkter. Spåren från de tidigare riktningarna kan ha bevarats genom läverkan från topografin i vissa lägen, medan de i övriga fall utplånats. Eftersom vindhastigheten dessutom varit relativt hög, är ju detta tänkbart. Men den symmetriska förekomsten av avvikande riktningar på lä- och lovartflankerna talar mot en sådan tolkning. Den skulle ju innebära, att spår som genom vindändringen hamnar mer i lovart bevarar sin riktning, medan andra som hamnar mer i lä omorienteras. Men oavsett vilken av dessa båda tolkningar som är den riktigaste, så visar de på sambandet mellan markvind och strömningen ovan hustaken och på möjligheten att med tolkningsmodellen undersöka eventuella avvikelser i den styrande strömningen.

Vasastaden-Haga-Olivedal, 1970-11-30 och 1970-12-01, snöspår

Ett lågtryck under varmfrontsocklusion rörde sig från England mot nordost. Snöfallet startade på natten kl 4 den 30 november som lätt ihållande. Under förmiddagen ökade intensiteten tillfälligt något men återgick sedan till det lätta ihållande snö-

Fig 6.14 Snöspåren indikerar att vinden ovan hustaken påverkas av såväl topografin som Göta älv

The snow tracks indicate that the wind above the roofs is influenced by the topography as well as by the river

andet som slutade kl 11 den 1 december. Vid snöfallets början var vinden ONO 10 m/s. Vinden vreds sedan långsamt mot O samtidigt som dess hastighet avtog till 4 m/s vid snöfallets slut. Efter snöfallet vreds vinden vidare till OSO och hastigheten avtog ytterligare. Temperaturen var under snöfallet strax under 0°C och steg efter frontpassagen på morgonen den 1 december till 1-2°C.

Karteringen (fig 6.14) genomfördes den 1 december med början innan snöfallet ännu avslutats. Vindspår: lovartstrimmor.

Tolkningen av snöspåren ger följande:

1. Spiralvind längs Vasagatan, som tyder på att vinden ovan hustaken borde ha kommit från O.

2. Från Vasagatan går en hörnvirvel in på skolgården. Längre in övergår den till en lävirvel.

3. På motsatta sidan av skolgården finns en lovartvirvel, som dras ut till en lovartspiral. Luften strömmar sedan i en hörnvirvel in på Vasagatan.

4. Vid bergklacken kan man se hur vindspårens vinkel mot gatan blir mindre. Väster om klacken ökar vinkeln åter.

5. På den öppna ytan i Allén visar vindspåren på en strömning
6. från ONO och detta är även fallet i Hagaparken (6). I lä
7. av bebyggelsen på östra sidan av parken bildas hörnvirvlar. Intressant är hörnvirveln vid (7) eftersom tillflödet av luft från den smala parallellgatan till Vasagatan borde vara relativt litet. Kan det vara så att den får ett tillskott av luftströmmen som styrs in mellan bebyggelsen och Hagakyrkan?

8. Spiralvind.

9. När luftströmmen närmar sig (9) österifrån sker en gradvis ökning av vinkeln mot Allén. Där bebyggelsen börjar uppträda även på nordsidan om Allén vrids luftströmmen in och strömmar parallellt med Allén bort mot Järntorget (10).

11. Snöspårens ökade vinkel mot gatan är svårförklarad. Orsaken
12. till vridningen kan kanske sökas hos den omgivande topografin. Bergspartierna vid (11) och (12), förstärkta med högre bebyggelse än längre österut, borde utgöra ett markant hinder för luftströmningen. En luftström borde av bergen vridas mot sydväst över området vid (9).

Längs Linnégatan, från Järntorget (10) till Linnéplatsen (19) uppträder en intressant svit av vindspår, vars uppkomst kan tolkas på flera olika sätt. En beskrivning av spåren kommer dock först.

10. Över Järntorget (10) strömmar luften på ett sätt som skulle
13. kunna tolkas som en hörnvirvel. Men med tanke på spiralvinden

vid (13) på Linnégatan är detta kanske,inte en fullständig förklaring.

16. Mitt för bergklacken (16) bildas en lä/lovartvirvel som dras
17. ut spiralformigt åt både norr och söder. Det är således
18. ungefär samma vindspårsfördelning som vid huset.

15. På skolgården möts spiralvindar från norr och söder längs Linnégatan.

19. Strömning mot sydväst över den fria ytan vid Linnéplatsen.

Situationen med olika riktade spiralvindar längs en och samma gata kan förefalla märklig, men eftersom Linnégatan löper i ett utdraget S, skulle en tolkning enligt modellen med sned angreppsriktning kunna prövas. Spårens vinklar mot gatan är emellertid alltför små, framför allt vid (13) för att denna förklaring skall synas tillfredsställande.

Topografisk styrning av i första hand Skansberget (15) och Olivedalsberget ger en kompletterande förklaring. Luftströmmen skulle då vridas kring bergen. På lovartsidan skulle detta ge divergerande luftströmmar som väl förklarar den utåtriktade spiralvridningen av lovartvirveln vid Olivedalsberget (16). På läsidan bildas en konvergerande strömning som passar in på sammanflödet på skolgården vid (14) bakom Skansberget (15). Båda bergklackarna (15) och (16) kommer att samverka till att styra en luftström mot nordväst mellan dem.

Spiralvinden vid (13) syns mig emellertid ha för liten vinkel mot gatan för att enbart vara skapad av luftströmmen på norra sidan av Skansberget utan det borde fordras ännú en styrande faktor. En luftström från NO borde vara lokaliserad längs Göta älv på grund av den mindre friktionen och den således snabbare strömningen över vattenytan. En liknande strömning längs ett parti med mindre friktion tycks även finnas i Allén-Vallgraven (5).

Vid Järntorget (10), där älven har en markerad krök, kan man förmoda att luften på grund av sin tröghet fortsätter upp mot bebyggelsen. Denna luftströmning från NO borde gynnas av att bergklackarna vid Otterhällan (11) och Kungshöjd (12) skärmar av luftströmmen från öster. Den ökade friktionen mot land tycks även kunna medföra en vridning av luftströmmen. Under Naturgeografiska institutionens fältkurs på Gotland 1972 kartlade en grupp vinddeformation av träd. En deformationsriktning mer eller mindre vinkelrätt mot kusten framgår tydligt på deras karta oberoende av kustens riktning (Andersson och Spännar 1972).

Om luftens skiktning eller snöns egenskaper är sådana att horisontella komponenter framhävs, vilket t ex situationen vid (7) tycks visa, stöds ovanstående tolkning ytterligare.

De förmodade vindriktningarna ovan hustaken avviker ibland så mycket, att de inte kan förklaras med enbart förändringar av den allmänna strömningsriktningen. Topografin bör därför ha haft en betydande styrande verkan. Trots detta behöver inte samtliga av de förmodade riktningarna ha förekommit samtidigt. Möjligen kan det vara så att det förekommit en viss topografisk avlänkning av vinden, men inte så stor som figuren tycks visa. I stället kan en mindre topografisk avlänkning genom att vinden vridits från ONO till O under snöfallet som slutresultat kunna ge en skenbart samtidig stor avlänkning av vinden.

Johanneberg, vindrosor

I vindsvaga situationer har vindrosorna i vissa lägen visat sig svåra att analysera, om basvinden antages vara densamma över hela området. Om basvinden däremot antas vara avlänkad av topografin, erhålles i regel enkla tolkningar enligt modellen. Vid fyra mättillfällen uppträder troliga topografiskt styrda avvikelser i flera av delområdena. Basvinden vid Torslanda var vid dessa tillfällen N 2,9 (starkt växlande riktning), NO 2,6, NO 3,0 och NO 4,4 m/s. Vid två tillfällen har det också förekommit svaga vindar från S. Några speciella avvikelser har ej noterats då. Detta kan antagligen bero på att vinden i de fallen löper nästan längs med terrängens linjer. De lägen där en topografisk vridning av vinden möjliggör en enkel tolkning ligger oftast intill och i lä av de brantaste bergsidorna.

Fig 6.15.a och b visar vindrosor från två av dessa vindsvaga tillfällen. Basvinden tycks i dessa båda fall vara vriden från NO till O-OSO av bergpartierna i Johanneberg och vid Liseberg (i övre högra härnet av kartan). En annan möjlighet skulle naturligtvis kunna vara, att vinden vid Torslanda ej skulle ha blivit korrekt registrerad på grund av den ringa hastigheten. Detta motsäges dock av flertalet övriga observationer dessa dagar. Vindrosornas utseende är påtagligt lika de som observerats vid ett tillfälle med en starkare vind från SO (fig 6.15.d). En starkare vind från No ger vindrosorna det utseende som framgår av fig 6.15.c.

Även starka basvindar tycks kunna ge topografiska styrningseffekter. Särskilt verkar så vara fallet på läsidan av branta bergväggar och då i forma av stora lävirvlar. Samma topografiska läge tycks i vindsvaga situationer i stället ge huvudsakligen horisontella vridningar.

Möjligheter att observera strömningen över hustaken

I de områden som undersökts har det framför allt varit strömningskomponenter med vertikalt inslag som dominerat tolkningarna. I samband med detta har antaganden gjorts om den strömning ovan hustaken som borde varit styrande för vindspåren på marken. Avvikande markobservationer har på ett rimligt sätt kunnat knytas till strömningsförändringar ovan hustaken, där de kan ha orsakats av topografisk avlänkning av strömningen eller av en

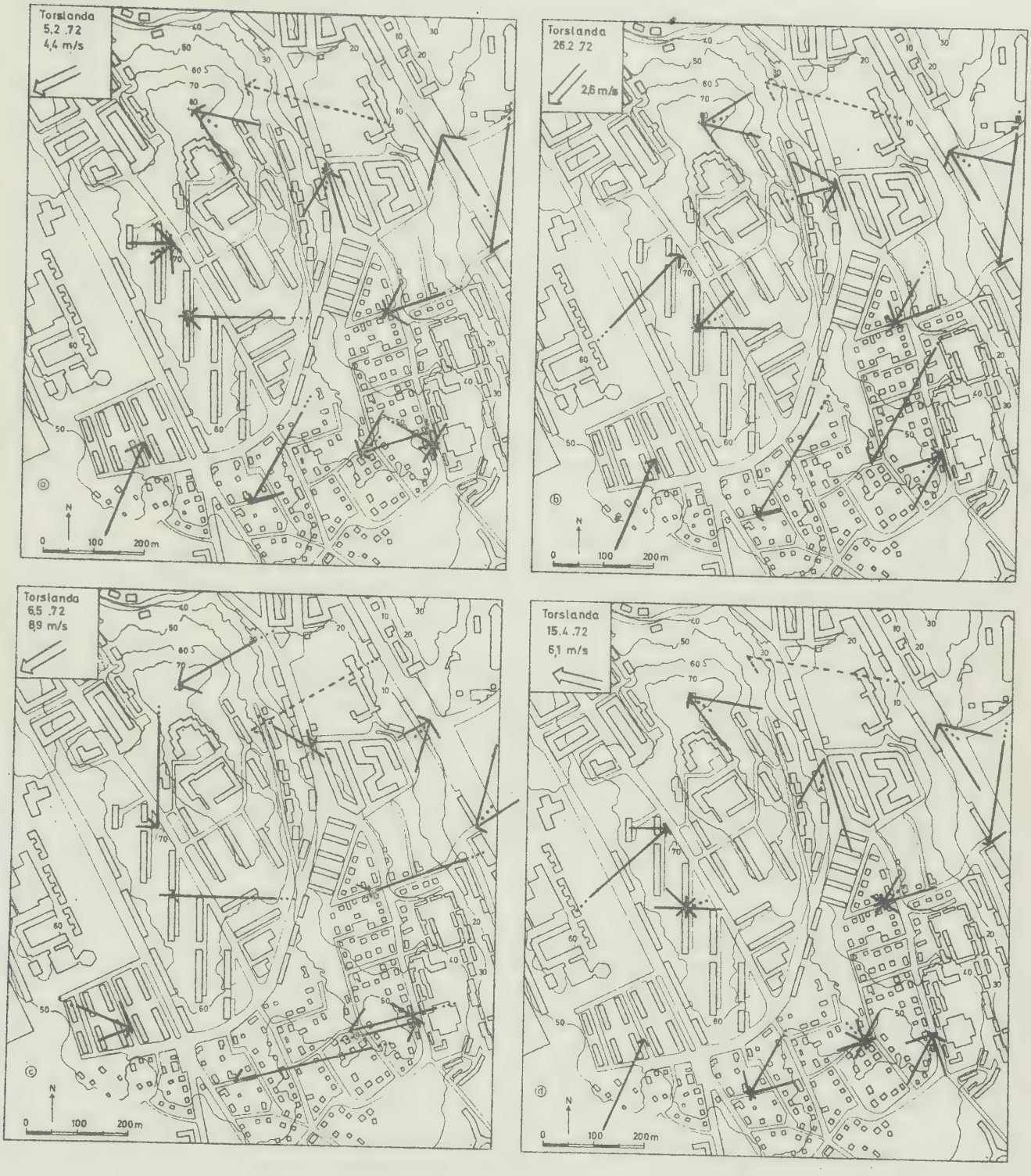


Fig 6.15 Vindrosor i Johanneberg. Vid svaga basvindar från NO (a och b) vrids vinden kring Johanneberg mot SO. Jfr med basvind från SO (d). Vid stark basvind mot NO (c) framträder den topografiska styrningseffekten inte lika mycket

Wind roses in Johanneberg. At weak base wind from NE (a and b) the wind is turned round the hill towards SE. Cf. base wind from SE (d). At strong base wind from NE (c) the topographical influence i much smaller.

allmän strömningsändring. Ibland har det kunnat diskuteras, vilken av dessa faktorer som verkat rimligast. Men vilken faktor som kan anses ha betytt mest, så skulle det betyda att vindspåren på marken mellan husen på ett mycket regelbundet sätt styrs av vinden ovan hustaken. Det borde således vara möjligt att genom en enkel och snabb kartering av vindspår på marken få fram noggranna fördelningsbilder av strömningen ovan hustaken, vilket kan vara av värde vid bedömningen av spridningen av luftföroreningar.

En metod att få fram uppgifter om strömningen ovan hustaken är, förutom kartering av flaggor, uppställning av registrerade instrument på hustak. Detta provades på ett hustak vid Linnégatan. Det visade sig att turbulensen var så svår att det, med den ringa instrumenthöjd som användes (1,5 m ovan hustaket), ej kunde erhållas användbara registreringar. Höjden ovan hustaken måste ökas, om denna metod skall kunna användas. Däremot visade det sig möjligt att med direkta observationer med en vindfana kunna undersöka vinden ovan hustaken och deras samband med markvinden (fig 5.4).

En mer sofistikerad metod att observera strömning är att med radar spåra en ballong intrimmad att ligga på en bestämd tryckнivå (Holzworth et al. 1963, Pack & Angell 1963, Angell & Pack 1965, Hoecker & Angell 1969).

Användning av mer avancerad fjärranalysteknik (termografi) kan kanske ge möjligheter till att analysera strömningsmönster genom observationer av avkylningseffekter. Det kan vara strimmighet på jämna ytor eller läeffekter vid byggnader (Mattson 1967, 1968, 1969). Men strömningen i det marknära skiktet är kanske alltför oregelbunden i ett bebyggelselandskap för att metoden skall kunna användas. Svårigheterna att erhålla korrekta skalförhållanden vid avsökningen kan också bli besvärande vid tolkningen av vindriktningarna.

Men även en enkel fjärranalysteknik, som flygfotografering av snöspår på taken av byggnader, bör kunna användas för att undersöka strömningen över ett bebyggt område. Från högre belägna hus i Gårdsten observerades vid ett tillfälle hur det från de plana hustakens hörn bildades kalblåsningar med distinkt orientering. Fenomenet är väl bekant från aerodynamiska modellförsök (Ackert 1965, s 116). Fig 6.16.c visar den luftströmning som skapar kalblåsningen.

I Gårdsten har byggnaderna plana tak, vilket medför att kalblåsningarna lokaliseras till ostörda lovarthörn (fig 6.17). På byggnader med sadeltak kommer en motsvarande kalblåsning att bildas på läsidan av den del av taknocken som är riktad mot vinden. I stället för en på två armar förgrenad kalblåsning blir det en stor ovalt formad (fig 6.16.a och b).

En motsvarande friläggning av vissa ytor på taken tycks även kunna åstadkommas genom smältning av snötäcket på taken vid töväder med varma vindar. Detta har observerats i februari 1977 efter ett snöfall från NO, vilket gav svaga kalblåsningar

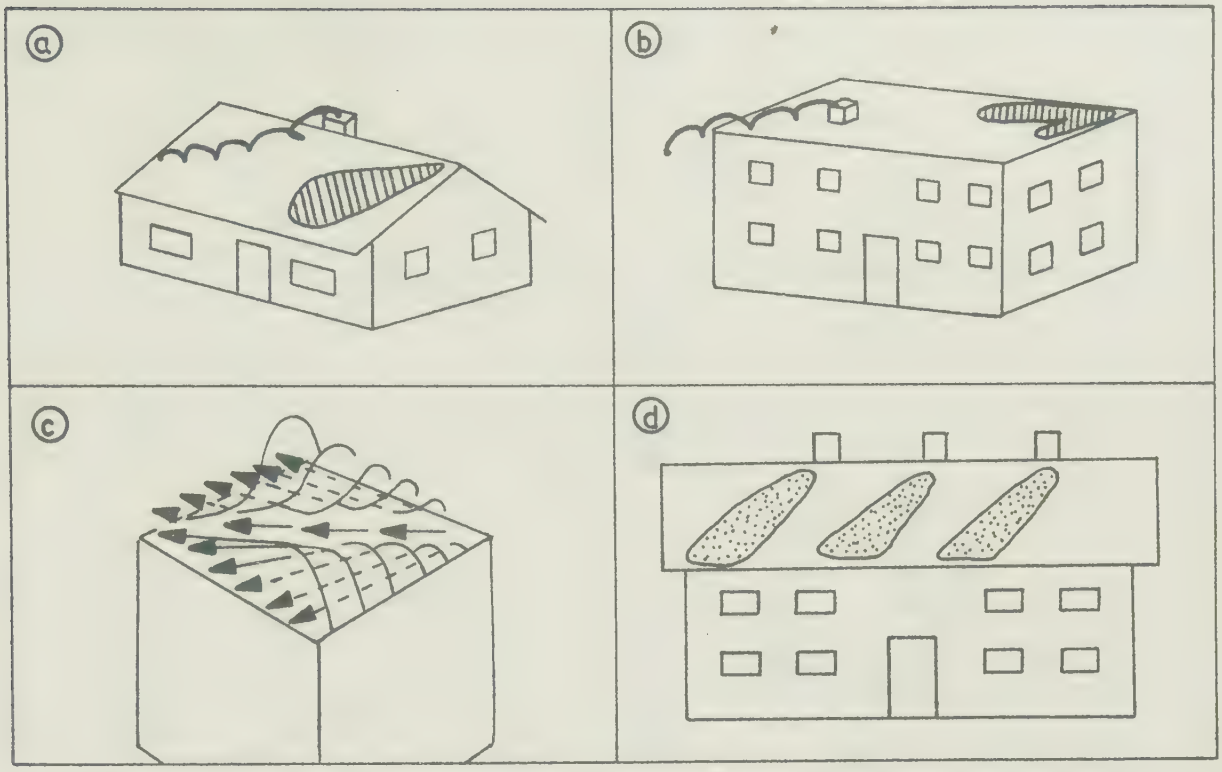


Fig 6.16 Snöspår på tak a) kalblåsning på läsidan av sadeltak b) kalblåsning på lovartsidan av plant tak c) den luftströmning som antas orsaka kalblåsningen (efter Ackert 1965) d) drivbildning i lä av skorstenar

Snow tracks on roofs a) clear-swept area on the leeside of a saddle roof b) clear-swept area on the windward corner of a flat roof c) supposed air-flow creating the clear-swept area (acc. Ackert (1965) d) drifts in lee of chimneys

i nordosthörnen. Efter snöfallet följde en varm vind från SO. Vid sydosthörnen framträdde då samma mönster som tidigare vid nordosthörnen. Vindhastigheten var vid tillfället så låg att något snödrev ej kan ha inträffat.

Det tycks finnas en tendens till ökande snödjup i lä-ändan av taken. På hustaken bildas även långsträckta drivor i lä av skorstenar. Direkt efter snöfallet syns de ofta inte, eftersom snön täcker taket. Men efter någon töperiod framträder de tydligt, då snön smält undan de mindre snörika partierna (fig 6.16.d). En viss risk för missvisande spår finns om det råder stark vind vid tövädret, så att tövinden förmår smälta fram ett eget vindmönster. Detta borde vara möjligt, om den inledande drivbildningen inte är markerad.

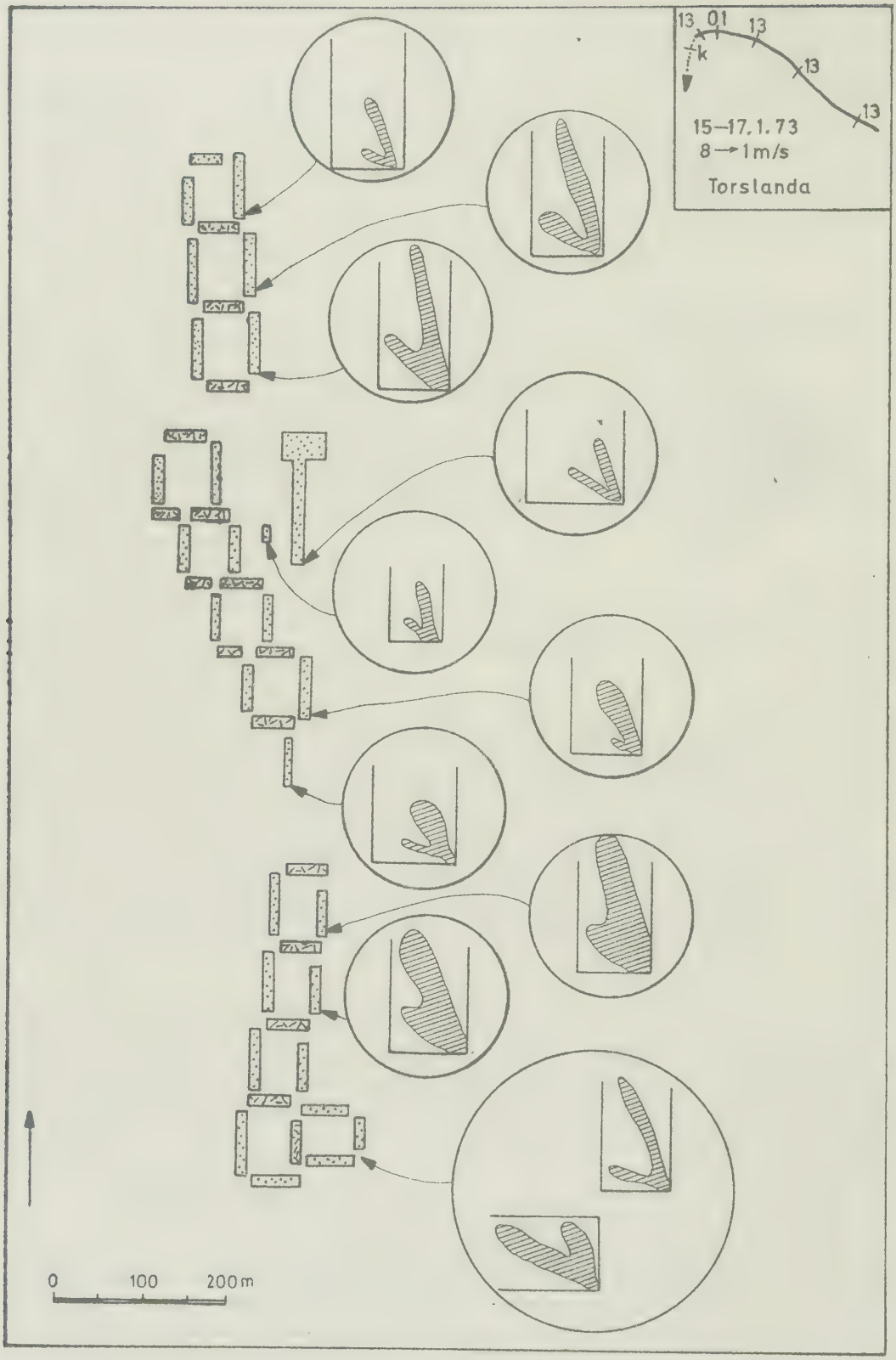


Fig 6.17 Kalblåsningar på plana hustak i västra Gårdsten. De högre husen är ej undersökta.

Clear-swept areas on flat roofs. Higher buildings were not investigated.

7. METODIK, MÄTUTRUSTNING OCH PRECISION VID UPPMÄTNING AV VINDHASTIGHETER I BEBYGGELSEN

I detta avsnitt beskrivs mätningarnas uppläggning och de vindmätare som använts. Större delen av utrymmet ägnas emellertid åt analys och diskussion av precisionen hos mätningarna, hur den påverkas av mättidens längd, differenser mellan olika observatörer, utjämning av 'hackiga' observerade vindhastighetsfördelningar i enskilda mätpunkter, vindändring under mätomgången samt differenser mellan olika mätare och sätt att uttrycka vindhastigheten.

Mätslingor

Att genomföra mätfärder är en vanlig metodik vid lokalklimatundersökningar. Detta gäller särskilt temperaturundersökningar, där användningen av termistorer möjliggör en nästan momentan avläsning av temperaturen. Brukar man en motsvarande metodik för för vindmätning, måste antalet mätpunkter begränsas kraftigt per mätfärd, om inte tidsåtgången för en mätfärd skall bli orimligt lång. Detta beror på att det inte räcker med enstaka momentanvärden för att bestämma vindens egenskaper.

För att öka ut antalet mätpunkter kan man emellertid genomföra flera parallella mätfärder. Genom att använda billiga byvindmätare (entimetrar)var det möjligt att genomföra 12 parallella mätslingor (mätfärder). Noggrannare vindvägmätare användes i en av mätslingorna för kontroll. Förflyttningen mellan mätpunkterna i resp mätslinga har skett till fots. Varje slinga har omfattat 12 mätningar, varav den första och den sista skett på samma plats.

Mätslingorna har varit av två slag. Det har huvudsakligen varit ett relativt glest nät, vilket täckt en stor del av Göteborg (fig 7.1). Dessa slingor mättes en gång per vecka maj-juni 1971 och februari-juni 1972. Avsikten var att få en representativ bild av vindförhållandena i olika bebyggelsetyper, topografiska lägen, vegetationsförhållanden och vädertyper. Tabell 7.1 ger uppgifter om mätpunkterna.

Dessutom utfördes ett antal mätningar med tätare liggande mätpunkter i stadsdelar med friliggande bebyggelse. Vindens variationer kan förväntas vara stora i dessa oregelbundet formade husgrupperingar. Det torde därför vara svårt att finna någon representativ punkt i ett sådant område för en mätslinga med större avstånd mellan mätpunkterna. I regel uppmättes varje slinga i detta tätare nät endast en gång. Två serier av denna typ av mätningar genomfördes i juni 1972 och juni 1974.

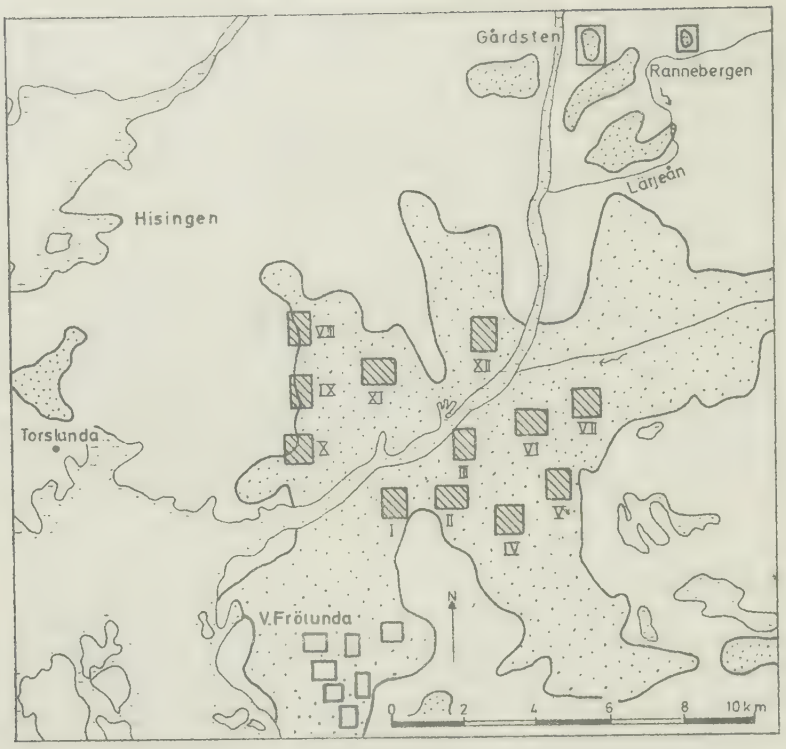


Fig 7.1 Undersökningsområde för vindmätningar. Delområdena i Västra Frölunda, Gårdsten och Rannebergen har undersökts vid enstaka tillfällen. Områdena I-XII har haft fasta mätslingor

I Gråberget-Stigberget
II Kommendantsängen-Guldheden
III Vasastaden-Inom Vallgraven
IV Johanneberg
V Örgryte
VI Lunden-Stampen
VII Bagaregården-Kålltorp
VIII Länsmansgården
IX Biskopsgården
X Bräcke
XI Kvillebäcken
XII Backa

Areas where wind speeds have been measured. The areas in Västra Frölunda, Gårdsten och Rannebergen have been investigated on single occasions. The areas marked with Roman numbers have been investigated several times.

Mätpunkternas representativitet

Mätpunkterna har i första hand placerats för att vara representativa för medelförhållandena i den närmaste omgivningen. Lägen nära hörn eller trånga passager har till största delen undvikits. Mäthöjden har varit densamma för alla mätpunkter. Däremot har avståndet till näraliggande hinder och husväggar varierat avsevärt. Ibland har mätpunkten varit placerad mitt emellan två hus och ibland har den legat nära intill en byggnad.

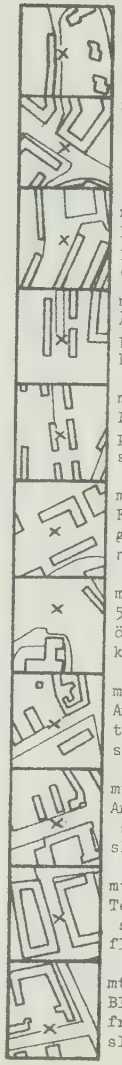
Tabell 7.1 Mätpunkterna i de 12 fasta slingorna

Measuring points in the 12 fixed measuring routes

Rad 1 Nummer och höjd över havet
Rad 2 Gatuadress
Rad 3 Bebyggelse
Rad 4 Topografiskt läge

Line 1 Number and height above sea level
Line 2 Street address
Line 3 Building type
Line 4 Topographical site

I



mtp 10 55 möh
Vantgatan 3a, motsatta sidan
3 vån fritt grupperad bebyg.
västsluttning nära krönet

mtp 11 30 möh
Såggatan 58
slutna landshövdingehus
tvärdal i NV-SO

mtp 12 25 möh
Ekedalsgatan 4
parallella 3 vån-hus
dalgång i N-S

mtp 13 65 möh
Älghagsgatan 4
parallella landshövdingehus
krön på västsluttning

mtp 14 50 möh
Bäckegatan 30-32
parallella landshövdingehus
svacka lutande mot N

mtp 15 45 möh
Fyrmästargången 2-4
glest gårdsgrupp. 5 vån-hus
nordostsluttning

mtp 16 55 möh
50 m N Masthuggskyrkan
öppen yta
krön på NV-sluttning

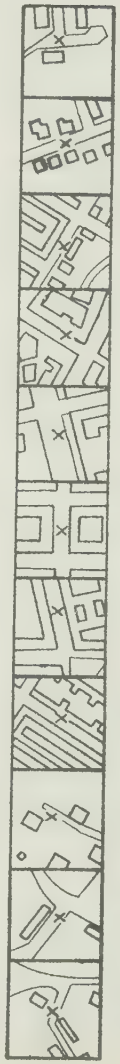
mtp 17 15 möh
Amiralitetsgatan 9-11
tvärställda 4 o. 9 vån-hus
slätt

mtp 18 15 möh
Amiralitetsgatan 18
slutna landshövdingehus
slätt

mtp 19 20 möh
Tellgrensgatan 13
slutna landshövdingehus
flack sluttning mot ONO

mtp 20 25 möh
Blåsutgatan 7
fritt grupp. 5-8 vån-hus
sluttning mot N

II



mtp 26 55 möh
Viktoriag. - Öv Besvärsg.
nybygge av 8 vån-hus
sluttning mot NO

mtp 27 30 möh
Föreningsgatan 14-16
villor
sluttning mot NO

mtp 28 20 möh
Carl Grimbergsg. 24-26
3 vån fritt grupperad bebyg.
intill brant dalsida i NO-SV

mtp 29 15 möh
Risåsgatan 3
slutna 6 vån-hus
tvärdal i NO-SV

mtp 30 10 möh
Linnégatan 42
slutna 6 vån-hus, allé
dal i NNV-SSO

mtp 31 15 möh
Alvhemsgatan 1-3
slutna 6 vån-hus
tvärdal i O-V

mtp 32 10 möh
Sveagatan 20-22
'slutna' 6 vån-hus
dal i NNV-SSO

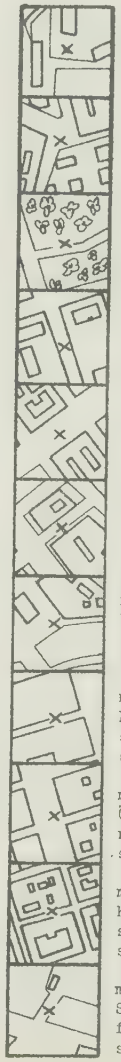
mtp 33 15 möh
Snickargatan 16
slutna landshövdingehus
dal i NO-SV

mtp 34 55 möh
Lövskogsgatan 18-19
6 vån punkthus
sluttning mot NV

mtp 35 60 möh
Ängemarken 2
2 vån-hus/9 vån punkthus
sluttning mot SV

mtp 36 70 möh
Dalheimersgatan 12
3 vån-hus/6 vån punkthus
sluttning mot SV

III



mtp 51 25 möh
Otterhälleskolans gård
fritt grupperade hus
krön

mtp 52 5 möh
Kaserntorget, Danska kyrkan
fritt grupperade hus
sluttning mot O

mtp 53 5 möh
Nya Allén
trafikled/park
slätt

mtp 54 10 möh
Erik Dahlbergsgatan 6
slutna 5 vån-hus
flack NNV-sluttning

mtp 55 10 möh
Vasagatan 33-46
slutna 4 vån-hus
flack sluttning mot N

mtp 56 5 möh
Storgatan 32-34
slutna 5 vån-hus
slätt

mtp 57 5 möh
Vallgraven/Lilla Nygatan
fri yta/5 vån-hus
slätt

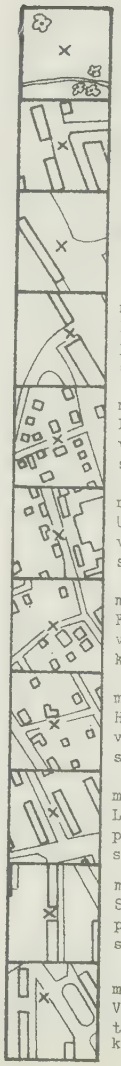
mtp 58 5 möh
Drottninggatan 36
slutna 4 vån-hus
slätt

mtp 59 5 möh
Östra Hamngatan 15-19
nybygge av 6 vån-hus
slätt

mtp 60 5 möh
Köpmansgatan 4, motsatt sida
slutna 4 vån-hus
slätt

mtp 61 5 möh
Stora Bommens bro
fri yta
slätt

IV



mtp 75 80 möh
50 m norr Rotary stud-hem
fri yta
krön

mtp 77 30 möh
Eklandagatan 38
trafikled/5 vån-hus
sluttning mot ONO

mtp 78 10 möh
spårvägs-hpl Liseberg
trafikled/6 vån-hus
dal i NV-SO

mtp 79 10 möh
Buråsliden/Mölndalsvägen
passage mellan långa 8 vån-h
sluttning mot ONO

mtp 80 30 möh
Buråsliden 17
villor
sluttning mot ONO

mtp 81 45 möh
Utlandagatan 39
villor/nybygge 3 vån
sluttning mot O

mtp 82 50 möh
Formskäraregatan 4a
villor/fri yta
krön på rygg i VNV-OSO

mtp 83 55 möh
Hultgrensg. 6, motsatt sida
villor
sluttning mot S

mtp 84 55 möh
Lindströmsg.3b, mots. sida
parallella 4 vån-hus
sluttning mot SV

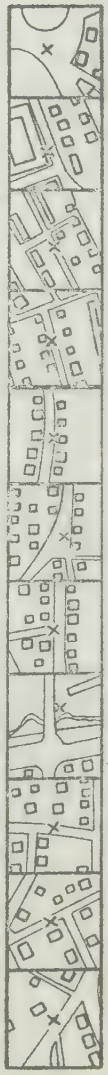
mtp 85 65 möh
Spaldingsgatan 7-9
passage mellan långa 7 vån-h
sluttning mot VSV

mtp 86 70 möh
Viktor Rydbergsg./Rosensköldsg.
trafikled o. 7 vån-hus
krön

Tabell 7.1 Mätpunkterna i de 12 fasta slingorna (forts.)

Measuring points in the 12 fixed measuring routes (cont.)

V



mtp 101 10 möh
St Sigfridspl./St Sigfridsg.
trafikled
dalmynning mot NV

mtp 102 15 möh
Jakobsdalsgatan 9
slutet 6 vån-hus/villor
sluttning mot NO

mtp 103 10 möh
Örgryte Stomgata 18
villor/radhus
dal i NNV-SSO

mtp 104 20 möh
Hagmarksgatan 3
villor
sluttning mot VSV

mtp 105 20 möh
Skårsgatan 74
villor
dal i NNV-SSO

mtp 106 25 möh
Skårsgatan 50
villor
dal i N-S

mtp 107 25 möh
Skårsgatan/Prytzgatan
villor
dal i N-S

mtp 108 20 möh
Lillkulleg., N brofästet
trafikled
dal i O-V

mtp 109 30 möh
Bögatan 20
villor
krön i NO-SV

mtp 110 20 möh
Bögatan 3b
villor
sluttning mot S

mtp 111 15 möh
Danska vägen 10-12
trafikled/villor
sluttning mot SO

VI

mtp 126 50 möh
Brunkebergsgatan 6a
slutna landshövdingehus
nära krön,sluttning mot OSO

mtp 127 25 möh
Mäster Johansgatan 12a
nybygge
rygg sluttande mot NNO

mtp 128 10 möh
Borgaregatan 19
slutna landshövdingehus,allé
flack sluttning mot V

mtp 129 10 möh
Kobbarnas väg 1c-6
parallella 6 vån-hus
slätt

mtp 130 5 möh
Garverig. 7-9, motsatt sida
blandad bebyggelse
slätt

mtp 131 5 möh
Stampgatan, lekplatsen
vinkelbyggt 6 vån-hus
slätt

mtp 132 5 möh
Baldersgatan 8
slutna 6 vån-hus
slätt

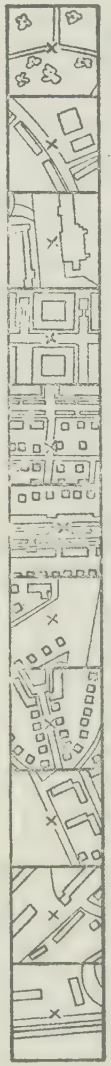
mtp 133 5 möh
Lilla Stampgatan, vändplatsen
trafikled/öppen yta
slätt

mtp 134 5 möh
Brusewitzgatan 6-8
slutna landshövdingehus
slätt

mtp 135 10 möh
Viadukten över E6
trafikled
slätt

mtp 136 45 möh
Jenny Lindsg., lekplatsen
öppen yta
krön mot SV

VII



mtp 160 35 möh
gångbana Kransen-Gustavsg.
park
sluttning mot N

mtp 161 20 möh
Lilla Munkebäcksg. 9c
2 vån-hus/trafikled
sluttning mot NO

mtp 162 20 möh
Munkebäcksg.,skola-ålderd.h.
trafikled
sluttning mot O

mtp 163 25 möh
Björcksgatan 26-28
slutna landshövdingehus
flack sluttning mot S

mtp 164 25 möh
Råstensg.-Segerlindsg.
villor
slätt

mtp 165 25 möh
Sanatoriegatan 24b-c
radhus, allé
slätt

mtp 166 25 möh
gångb. Utjordsg.-Stenströmsg.
slätt

mtp 167 25 möh
Spelmansgatan 10
villor
slätt

mtp 168 30 möh
Ängsvaktaregatan
2 vån-hus/öppen yta
slätt

mtp 169 40 möh
Morängatan-Sofiagatan
parallella 2-3 vån-hus
sluttning mot SO

mtp 170 55 möh
Kobergsgatan 22
4 vån-hus
sluttning mot N

VIII

mtp 176 60 möh
ändhpl för spårvagnslinje 5
öppen yta
svacka i sluttning mot O

mtp 177 80 möh
Barometergatan 25
4 vån-hus, gård öppen mot S
krön

mtp 178 75 möh
Temperaturgatan 47
vinkelbyggda 4 vån-hus
krön

mtp 179 85 möh
Rimfrostg. 105-7,berget bakom
öppen yta
krön

mtp 180 80 möh
Rimfrostgatan 91-117
parallella 3 vån-hus
krön

mtp 181 75 möh
Dimvädersgatan 24-32
slutna 4 vån-hus
krön

mtp 183 75 möh
Godvädersgatan 28-39
slutna 4 vån-hus
krön

mtp 183 75 möh
Dimvädersgatan 66-78
slutna 4 vån-hus
krön

mtp 184 80 möh
Rimfrostg. 79-lekplatsen
tvärställda 4 vån-hus
krön

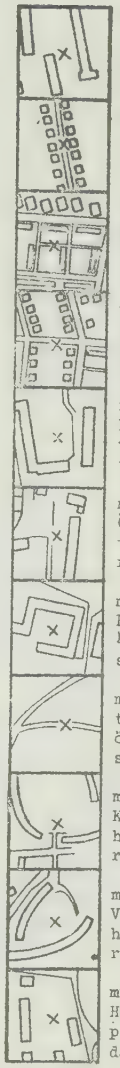
mtp 185 75 möh
Rimfrostgatan 31-41
parallella 4 vån-hus
svacka i NNO-SSV

mtp 186 75 möh
Daggdroppeg. 18-Klimatg.23
parallella 4 vån-hus/öppen yta
svacka mot NNO

Tabell 7.1 Mätpunkterna i de 12 fasta slingorna (forts.)

Measuring points in the 12 fixed measuring routes (cont.)

IX



mtp 201 45 möh
Sommarvädersgatan 34-50
parallella 3 vån-hus
svacka i NNV-SSO

mtp 202 30 möh
Kölnåsgatan 10
villor
intill dalsida i NNV-SSO

mtp 203 30 möh
gångb. Lärksångsg.-Gökropsg.
radhus
flack sluttning mot SSO

mtp 204 30 möh
Korsklevegatan 42-44
villor/öppen yta
flack sluttning mot SSO

mtp 205 45 möh
Molnvädersgatan 12-22
vinkelbyggt 4 vån-hus/9 vån-hus
tvärdal i O-V

mtp 206 60 möh
Önskevädersgatan 45
tvärställda 4-8 vån-hus
rygg i N-S

mtp 207 75 möh
Flygvädersgatan 1-7
4 vån-hus,gård öppen mot V
sluttning mot O

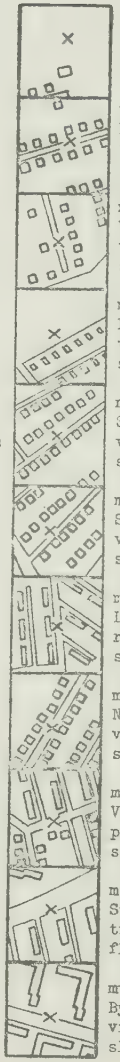
mtp 208 75 möh
tvärgångbana till Byväderg.
öppen yta/park
sluttning mot S

mtp 209 65 möh
Köldgatan 6-28
halvmåneformade 3 vån-hus
rygg i N-S

mtp 210 60 möh
Värmegatan 5-10
halvmåneformade 3 vån-hus
rygg i N-S

mtp 211 35 möh
Höstvädersgatan 41-49
parallella 3 vån-hus
dal i N-S

X



mtp 226 20 möh
SO-hörnet av fotbollsplanen
öppen yta
slätt

mtp 227 20 möh
Rydholmsgatan 20
villor
slätt

mtp 228 20 möh
Vårflodsgatan 10-12
villor
slätt

mtp 229 20 möh
Bräckevägen 82
trafikled/villor
slätt

mtp 230 20 möh
Stenåldersvägen 9
villor
slätt

mtp 231 20 möh
Stamrotesvägen 23
villor
slätt

mtp 232 20 möh
Londongatan 77-79
radhus
slätt

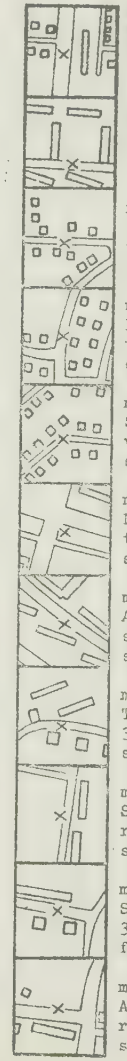
mtp 233 20 möh
Norska gatan 15-17
villor
sluttning mot V

mtp 234 10 möh
Vårbroddsgatan 5
parallella 3 vån-hus/villor
slätt

mtp 235 15 möh
Stålhandskegatan 42
trafikled
flack sluttning mot S

mtp 236 20 möh
Byalagsgatan 12b,motsatt sida
vinkelbyggda 3 vån-hus
slätt

XI



mtp 251 10 möh
Wieselgrensg.12, motsatt sida
trafikled/villor
slätt

mtp 252 10 möh
Östanvindsg. 4c, motsatt sida
glest gårdsgrupp. 3 vån-hus
slätt

mtp 253 15 möh
Tubogatan 6
villor
sluttning mot SO

mtp 254 35 möh
Blackevägen 32
villor
dal sluttande mot S

mtp 255 35 möh
Stängselg. 4-6, motsatt sida
villor
sluttning mot N

mtp 256 15 möh
Nya Björlandav.-Klövervallsg.
trafikled/öppen yta
slätt/bred dal i NV-SO

mtp 257 15 möh
Arvid Lindmansgatan 22b
snedställda 3 vån-hus
slätt

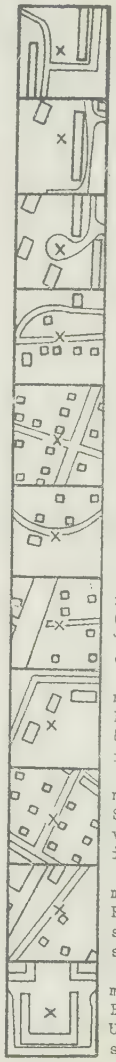
mtp 258 15 möh
Tolteredsg. 11-13,motsatt sida
3 vån-hus/6 vån-punkthus
slätt, dalsida i N

mtp 259, 15 möh
Slättadammsg. 7, motsatt sida
rad med 3 vån-hus/öppen yta
slätt

mtp 260 15 möh
Scholandersg.4-6,motsatt sida
3 vån-hus/3-vån punkthus
flack sluttning mot S

mtp 261 10 möh
Arvid Lindmansg. 2c,mots.sida
rad med 4 vån-hus
slätt

XII



mtp 276 10 möh
Humoreskgatan 6
parallella 9 vån-hus
slätt

mtp 277 10 möh
Balladg. 2 - Memoarg. 18
9 vån-hus
dal i N-S

mtp 278 15 möh
Sångspelsg., vändplatsen
9 vån-punkthus
dal i N-S

mtp 279 15 möh
Nya Tingstadsgatan 40
villor
tvärdal i O-V

mtp 280 20 möh
Sågverksgatan 11
villor
sluttning mot O, dalsida

mtp 281 45 möh
Klintåsgatan 3-5
villor
pass i O-V

mtp 282 35 möh
Glisterbackegatan 12
villor
dal i N-S

mtp 283 20 möh
Poesig. 6 - Klassikerg. 19
8 vån-punkthus
intill dalsida i NNO-SSV

mtp 284 15 möh
Skaldegatan 3-5
villor
intill dalsida i NNO-SSV

mtp 285 10 möh
Författargatan 7
skola
slätt

mtp 286 10 möh
Berättelsegatan 30-38
U-byggt 3 vån-hus
slätt

Vid några tillfällen under september 1970 utfördes på Snickargatan (landshövdingehus, gatubredd 12 m) några mätningar på olika höjd över gatan och avstånd från närmaste husvägg. Mätningarna utfördes med vindvägmätare (Lambrecht) monterad på käppar, vilket gav mäthöjderna 50, 100 och 190 cm. För varje mäthöjd gjordes mätningar 1, 2 och 4 m från närmaste husvägg, eftersom de största förändringarna av vindhastigheten på grund av friktionen kan förväntas ske nära husväggen. Två eller tre tvärsektioner av gatan undersöktes. I varje tvärsektion mättes punkterna i slumpmässig ordning med korta mättider (40 eller 80 sek) och i de flesta fall upprepades mätningarna. Sammanlagda mättiden för varje kombination av höjd och avstånd varierade mellan de olika mätserierna från 2 till 8 min.

Enhetliga tendenser är svåra att utläsa ur dessa mätningar, vilket åtminstone delvis torde bero på att de sammanlagda mättiderna varit begränsade. Det tycks emellertid vara så att då vinden blåser mer eller mindre tvärs mot husens och gatans längdutsträckning, har mätpunkternas exakta placering liten eller ingen betydelse. När vinden blåser an längs husen verkar effekten av mäthöjd vara obetydlig, medan vindhastigheten ökar något med avståndet från husväggen.

Endast undantagsvis ligger mätpunkterna närmare en husvägg än 4 m och inte i något fall närmare än 2 m. Genomsnittligt torde därför mätpunkterna kunna anses vara godtagbart representativa för de bebyggelsetyper de befinner sig i.

Mätningar av vindhastighet

För mätningar av vindhastigheten användes huvudsakligen en typ av byvindmätare - Ventimeter. Delvis användes också vindvägmätare, mestadels en av turbintyp (Lambrecht 1400), sporadiskt även en skålkorsmätare (Fuess 91 R). Ett gemensamt drag för mätarna är att de registrerar den horisontella vinden. I den mån vinden har en vertikal komponent, kommer den verkliga vindens hastighet att underskattas. Mätarna var placerade på en käpp, vilket gett en konstant mäthöjd av 1,6 å ovan markytan.

Vindvägmätare

Lambrechtmätaren (fig 7.2.a) består av ett turbinhjul i ett rör (diameter 10,5 dm, längd 6 cm). Turbinhjulet är kopplat till en varvräknare som är graderad i antalet genomblåsta meter under mättiden. Mätaren måste hela tiden riktas mot vinden för att ge korrekta värden. Av det fabrikjusteringsbevis som medföljer mätaren framgår att denna är av mycket god noggrannhet, åtminstone under jämn strömning i vindtunnel. Följande formel anges: $v = 7 + 0{,}989 \cdot n$, där v är vindhastigheten i m/min och n är avläst värde i m/min. Vid en avläst hastighet av 2,00 m/s anger formeln verkliga hastigheten till 2,09 m/s. Vid ökande vindhastighet minskar avvikelsen för att vid en avläst hastighet på 9,99 m/s vara lika med 0. Möjligen skulle man kunna tänka sig att korrigera

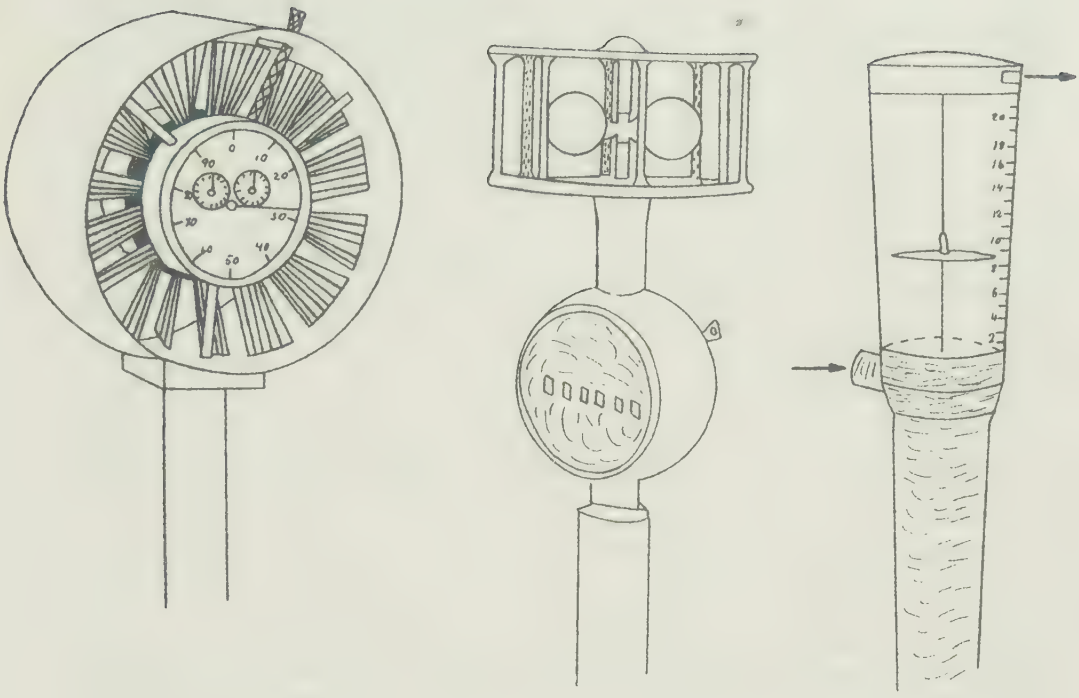


Fig 7.2 Vindmätare a) Lambrecht 1400 (vindvägmätare) b) Fuess 91R (vindvägmätare) c) Ventimeter (byvindmätare)

Anemometers a) Lambrecht 1400 (average wind speed) b) Fuess 91R (average wind speed) c) Ventimeter (gust wind speed)

det avlästa värdet för hastigheter lägre än 2m/s, men detta har ej skett. Av en bruksanvisning till mätaren framgår, att mätaren kan anses användbar ner till 0,3 m/s. Vid avläst värde 0,30 m/s blir korrigerade vinden 0,41 m/s.

Känsligheten för avvikelser i riktning mellan mätare och vind har prövats genom att mätaren monterades på en kompass och placerades i en konstant luftström, genererad av en dammsugare. Skillnaden i registrerad vindhastighet för olika stora avvikelser i vindriktning jämfört med sammanfallande vind- och mätarriktning registrerades för olika vindhastigheter. Dessa erhölls genom att kompassen med mätaren monterades på en släde som kunde förskjutas i förhållande till luftströmmens utströmningsöppning. Vindhastigheten, mätt med sammanfallande vind- och mätarriktning, varierade mellan 2 m/s och 10 m/s. Tabell 7.2 visar procentuella ändringen för olika grader av avvikande mätarriktning. Märkligt nog innebär vissa avvikande mätarriktningar att Lambrechtmätaren registrerar en vindökning. Denna inträffar när luftströmmen träffar turbinbladen i ungefär rät vinkel.

Tabell 7.2 Procentuell ändring av uppmätt vindhastighet då vindmätarens riktning avviker från vindriktningen

Change (in %) of measured wind speed when the anemometer direction deviates from the wind direction

Avvikelse (°) Deviation (°)	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40
Vindändring (%) Wind change (%)									
Lambrecht	-5	+2	+3	+2	0	-1	-3	-8	-18
Ventimeter	-20	-12	-6	-3	0	-3	-6	-12	-20

I fält har mätaren riktats mot vinden med hjälp av en 3-4 dm lång tråd monterad ovanpå mätaren. Erfarenhetsmässigt har det visat sig att vid genomsnittshastigheter underskridande 0,6 m/s medför friktionen i mätaren tidvis att den uppmätta hastigheten blir alltför låg. Vid sådana tillfällen har hastigheten satts till 0,5 m/s.

Fuessmätaren (fig 7.2.b) registrerar liksom Lambrechtmätaren vindvägen. Men eftersom den arbetar med ett i horisontalplanet roterande skålkors (diameter 5,5 cm) är den okänslig för variationer i vindriktning. Skålkorsmätare anses ge något för höga värden på grund av att skålkorsets tröghet gör att det ej reagerar direkt när vindhastigheten sjunker. Detta har tidigare nämnts vid diskussionen av vindmätaren vid Vinga.

Ventimetern

Mätaren är en typ av byvindmätare och består av ett genomskinligt plaströr, som vidgar sig något uppåt (fig 7.2.c). Luften pressas in i mätaren genom ett mot vinden vänt rör i nederdelen av mätaren. Den inströmmande luften lyfter en skiva monterad på en vertikal axel. Luften evakueras genom en springa i överkanten på baksidan. Den momentana vindhastigheten, som anges av skivans lyfthöjd, läses av med en skala på mätarens baksida.

Ventimetern måste liksom Lambrechtmätaren vara vänd mot vinden för att man skall erhålla korrekta värden. Men medan Lambrechtmätaren måste vara riktad mot vinden under hela mättiden, behöver Ventimetern endast vara det just i samband med avläsningstillfällena, eftersom den registrerar den momentana vinden.

Känsligheten för avvikelser i riktning mellan mätare och vind undersöktes på samma sätt som för Lambrechtmätaren. Tabell 7.2

visar de procentuella förändringarna för olika vinkelskillnader mellan vind- och mätarriktning. Den större känsligheten för felriktad mätare kan dock delvis kompenseras genom att mätaren inte behöver vara riktad mot vinden hela tiden. En vinkelskillnad på 30° skulle ge en vindsänkning med ca 12%. Enligt min bedömning torde knappast så stora fel i riktningen som 30° förekomma annat än sporadiskt. Genomsnittligt bör emellertid de i fält uppmätta ventimetervärdena på grund av felriktningarna bli något för låga. Detta kan dock i någon mån kompenseras av att observatörerna i gränslägen tycks ha en tendens att avläsa något för höga värden.

Ett problem med Ventimetern är att det fordras en viss minimihastighet innan skivan lyfter. Jämförande mätningar mellan Ventimeter och vindvägmätare i konstant luftström visar att det behövs en hastighet av 2.0 m/s för att skivan skall lyfta.

Vindhastigheten bestämdes i fält genom avläsningar i sex minuter med bestämda intervall. De flesta observatörerna hade 10 sekunder mellan avläsningarna, men några få använde sig av 5-sekundersintervall. Vindhastigheterna avlästes i hela m/s. Observationer mindre än 2 m/s noterades som 1 m/s i protokollet.

Databearbetning och statistisk bearbetning

Ur de med Ventimetern observerade vindhastigheterna beräknas aritmetiskt medelvärde, och ur den kumulativa fördelningen av observationerna bestäms percentilerna p.25 (undre kvartil), p.50 (median), p.75 (övre kvartil) och p.95, d v s de värden som underskrids av 25, 50, 75 resp 95% av värdena i den kumulativa fördelningen.

För den rutinmässiga bearbetningen av de enskilda mätomgångarna och för en del beräkningar på större delar av det samlade datamaterialet har jag satt samman Fortran-program, vilka körts på Göteborgs Datacentral med en IBM 360. Övrigt beräkningsarbete har i huvudsak utförts med en programmerbar bordskalkylator, Burroughs C 3660.

Vad gäller den statistiska bearbetningen kan noteras att standardavvikelse, varians, regressionslinje och korrelationskoefficient ej kräver några antaganden om slumpmässighet eller fördelningstyp. För beräkning av konfidensintervall och hypotesprövning (t ex med variansanalys) måste sådana antaganden ställas upp. Fördelningarna har då antagits vara åtminstone approximativt normalfördelade.

Eftersom både konfidensintervall och de utförda hypotesprövningarna är dubbelsidiga, betyder en mindre skevhet i fördelningen mindre för signifikansen (Brownlee (1965). När utsagor görs om medelvärden gäller enligt "centrala gränsvärdessatsen" att dessa medelvärden kan betraktas ha normalfördelning (Råde 1966). För övriga variabler är antagandet mera osäkert.

Det finns emellertid en del statistiska test som ej kräver antagande om fördelningstyp, s k icke-parametriska test. Exempel på dessa är teckentest och Wilcoxens rangkorrelationstest, vilka endast kräver att urvalet kan betraktas som slumpmässigt.

Hypotesprövningarna har genomförts på 5%-nivån. Det innebär att nollhypotesen - ingen skillnad mellan de olika grupperna - kommer att felaktigt förkastas i 5% av fallen.

Konfidensintervallen har beräknats för 95%-nivån, d v s i 95% av fallen kommer det verkliga värdet på variabeln att ligga inom intervallen. Konfidensgränsen anges i fortsättningen som ett tal $\pm$ kring variabelvärdet. Om antalet ingående observationer är större än 30, kan konfidensintervallen enligt normalfördelningen bestämmas till 2 x standardavvikelsen (egentligen 1,96 x standardavvikelsen). Är antalet observationer mindre än 30, måste konfidensintervallen bestämmas med hjälp av t-fördelningen, vilket ger vidare gränser.

Mättidens längd

En mätslinga fick enligt min mening inte ta mer än två timmar att genomföra. Den mättid som krävs i varje mätpunkt blir därför bestämmande för hur många mätpunkter som kommer att ingå i slingorna. Tidigare använde jag en mättid på tre minuter, vilket visade sig vara i minsta laget (Holmer 1969, s 25). Tio minuters mättid används på de meteorologiska stationerna i Sverige, vilket synes mig vara väl lång tid. Som en kompromiss valdes efter några försök sex minuter som mättid.

Eftersom första och sista mätningen i varje slinga genomfördes i samma mätpunkt, finns möjlighet att analysera hur mätningens precision påverkas av mättidens längd. För varje par av start- och slutmätning, totalt 132 par, beräknades medelvärdena för 1, 2 ... 6 minuters mättid. Tabell 7.3 visar hur variansen för mätningsparen avtar med ökande mättid.

För bedömningen av om längre mättid skulle ha minskat variansen ytterligare har i tabellen också lagts in en motsvarande beräkning av vindvägvärden. Dessa är uppmätta på en höjd i Slottsskogen, d v s en mätpunkt som har mindre byig vind än de bebyggda områden som huvuddelen av ventimetervärdena är uppmätta i. Slottsskogsvärdena borde således kunna betraktas som en undre gräns för vad som är möjligt. Linjen lutar inte särskilt mycket. Det innebär att en längre mättid inte minskar variansen på något avgörande sätt.

Man bör även lägga märke till att minimivariansen uppnås efter fem minuter och att variansen sedan ökar något med ökande mättid. Eftersom slottsskogsmätningarna är relativt fåtaliga (24 par), kan den stigande tendensen betraktas som en tillfällighet. Det finns dock en antydan till något liknande för de lägsta ventimeterhastigheterna och samma sak har återkommit i flera liknande beräkningar, vilka dock ej redovisas här.

Tabell 7.3 Mätprecisionens beroende av mättidens längd

Measuring precision in relation to the length of measuring time

Mätare Anemometer	Vindhastighet (m/s) Wind speed (m/s)	Varians (m^2/s^2) vid olika mättider (min) Variance (m^2/s^2) at different length of measuring time (min.)						
		1	2	3	4	5	6	6.40
Ventimeter	1-2	0,31	0,19	0,14	0,14	0,09	0,10	-
	2-3	0,97	0,63	0,56	0,41	0,36	0,27	-
	3-4	1,04	0,91	0,61	0,46	0,31	0,28	-
	4-	0,81	0,80	0,44	0,33	0,27	0,23	-
Lambrecht	1-4	0,25	0,19	0,15	0,13	0,13	0,15	0,17

Finns det då någon grund för att det skulle existera något verkligt variansminimum efter fem minuters mättid? Van der Hoven (Lundgren 1969, s 89) har mätt upp energispektrum för vinden i New York och funnit ett energimaximum med periodicitet av 2-4 minuter. Det skulle kunna innebära att med sex minuters mättid fångar man upp en sådan period plus en del av nästkommande. Hur det nu än är med den saken, så tycks det mig emellertid vara så att en förlängning av mättiden inte ger någon avgörande precisionsvinst - framför allt inte med tanke på att det skulle ha reducerat antalet mätningar avsevärt.

Skillnad mellan olika observatörer

Åtskilliga personer har medverkat i mätningarna. Vissa har deltagit vid enstaka tillfällen, andra i större antal mätomgångar. Eftersom Ventimetern skall riktas mot vinden och läsas av med bestämda intervall, krävs en viss skicklighet för att erhålla goda mätvärden. På grundval av vad jag sett av observatörer i fält och min egen mätningserfarenhet har jag gjort en rimlighetsprövning av mätprotokollen. Mätningar utförda av några få observatörer har helt eller delvis uteslutits från vidare bearbetning. I andra fall har mätningarna inte verkat vara av bästa kvalitet men ändå ansetts användbara för medelvärdesberäkningar efter viss justering (observationsutjämning).

I två mätserier är det möjligt att direkt jämföra mätresultaten från olika observatörer. Dessa stod med några få meters mellanrum på öppna ytor och mätte samtidigt vindhastigheten med Ventimetrar. Två olika observatörsgrupper deltog. Den ena gruppen hade ringa mätvana och den andra hade blandad mätningserfarenhet. Grupperna utförde 9 resp 10 mätningar.

Medelavvikelser från de enskilda observatörerna skilde sig inte i något fall från gruppmedelvärdet med mer än 0,1 m/s. Variansanalys visar att det ej kan anses vara någon skillnad mellan observatörerna inom resp grupp.

Ovanstående mätningar visar vilken samstämmighet som kan uppnås under gynnsamma förutsättningar - öppen yta med jämn vind och observatörer som ansträngt sig att göra ett gott arbete. I bebyggelsen där vindens riktning och hastighet växlar snabbt kan förmodligen ganska stora avvikelser förekomma.

Eftersom det varit många observatörer som medverkat vid de olika mätomgångarna kommer felen att jämnas ut vid medelvärdesberäkningar. Enskilda mätpunkters vindhastighet bör emellertid bedömas med försiktighet.

Observationsutjämning

Efter hand visade det sig att vissa observatörer hade förkärlek att läsa av jämna tal på Ventimetern. Detta berodde troligen på att dessa är markerade med siffror på mätaren, medan de udda endast är markerade med skalstreck. Följden av detta blir att den observerade fördelningen får ett ojämnt utseende.

Principen för observationsutjämning har varit ett glidande medeltal med dubbel vikt åt den klass som skall utjämnas jämfört med den närmast liggande klassen på ömse sida, vilket är samma modell som B Eriksson (1967, s 7) använt för att utjämna observerade vindriktningsfrekvenser,

$$g_i = \frac{f_{i-1} + 2f_i + f_{i+1}}{4}$$

där g_i är den utjämnade och f_i den ursprungliga frekvensen i klass i.

I praktiken har jag modifierat denna beräkningsmetod något, så att den ger heltalsvärden åt antalet observationer i varje klass efter utjämningen

$$G_i = \frac{F_{i-1}}{4} + F_i - 2 \cdot \frac{F_i}{4} + \frac{F_i}{4}$$

där divisionerna utförts som heltalsdivision, vilket innebär att inga decimaler tas med och att någon avrundning uppåt ej genomförs. T ex ger heltalsdivisionen 7/4 heltalskvoten 1.

Någon utjämning mellan klasserna 1 och 2 m/s har ej utförts. Detta beror på att 2,0 m/s är den hastighet när ventimeterskivan börjar lyfta, vilket innebär att denna klassgräns kan anses vara noggrannare observerad. Uttrycket för observationsutjämningen mellan klasserna 2 och 3 m/s måste därför justeras något

$$G_i = F_2 - \frac{F_2}{4} + \frac{F_3}{4}$$

Om t ex de udda klasserna är underrepresenterade i förhållande till de jämna, ger observationsutjämningen en betydande omproportionering av de avlästa värdena (fig 7.3.a och b). Är observationerna redan före observationsutjämningen mer kontinuerligt fördelade, blir effekten obetydlig (fig 7.3.c).

Observationsutjämningen innebär en viss breddning av vindfördelningen. De båda övre percentilerna (p.75 och p.95) kommer systematiskt att få något högre värden. Följden av detta blir också att det aritmetiska medelvärdet ökar något. Något beroende av vindhastigheten tycks ej finnas med undantag av att högre vindhastigheter ger utrymme för en viss sänkning av p.25-värdena.

Tabell 7.4 Effekten av observationsutjämning

Smoothing of observations

Variabel Variable	p.25	p.50	p.75	p.95	$\bar{u}$
Effekt av obs-utj (m/s) Effect of smoothing (m/s)	±0,01	+0,04	+0,13	+0,23	+0,10
95% konf-intervall för medeleffekten 95% conf. limits for average effect	±0,012	+0,009	±0,008	±0,012	±0,004
95% konf-intervall för enskilda värden 95% conf. limits for individual values	±0,22	±0,20	±0,26	±0,40	±0,14

Tabell 7.4 visar de genomsnittliga förändringarna på grund av observationsutjämningen och de 95%-iga konfidensintervallen för dessa medelförändringar och de enskilda bestämningarna av percentiler. Som synes är konfidensintervallen för enskilda observationer större än medeleffekten av observationsutjämningen. Det innebär att det statistiskt sett inte kan påstås vara någon signifikant effekt av observationsutjämningen för de enskilda percentilbestämningarna. Däremot är den genomsnittliga effekten väl belagd. På grund av det stora antalet observationer (sammanlagt ca 4.200) blir konfidensintervallen för medelvärdena mycket smala.

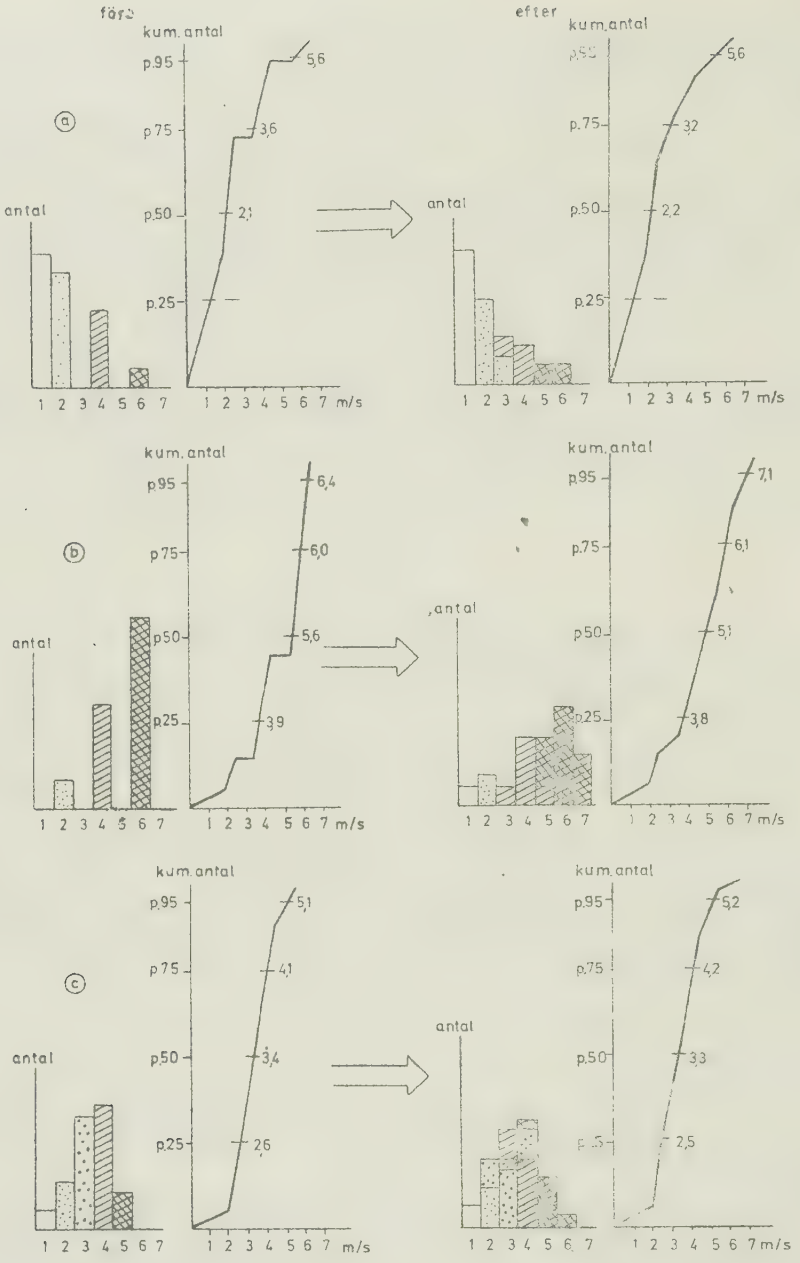


Fig 7.3 Observationsutjämning
Spalt I histogram över observerade värden
II kumulativ fördelning av observerade värden
III histogram över omfördelade värden
IV kumulativ fördelning av omfördelade värden

a/ och b/ är exempel på ojämna fördelningar, där observationsutjämningen får relativt stor effekt,
c/ exempel på jämn fördelning, vilket medför ringa effekt av observationsutjämningen

Smoothing of observations

Column I histogram of observed values
II cumulative distribution of observed values
III histogram of smoothed values
IV cumulative distribution of smoothed values

a/ and b/ exemples of uneven distributions where the smoothing has relatively great effect
c/ example of an even distribution where the smoothing has little effect

Effekten av observationsutjämningen kan också märkas vid beräkningen av linjära samband för vindstrukturen (t ex mellan p.50 och p.95). Av 126 beräknade samband (av 11 olika typer) blev korrelationskoefficienten i 95 fall högre, i 20 fall lägre och i 11 fall oförändrad. Detta innebär en klart signifikant förbättring (teckentest). Genomsnittligt kommer sambanden efter observationsutjämningen att förklara ytterligare 4% av den totala variansen.

Korrektion för vindändring

Att vindhastigheten skall vara konstant under hela den tid det tar att genomföra mätslingorna kan man knappast förvänta sig. Liksom fallet är vid temperaturundersökningar kan man försöka korrigera de uppmätta värdena för systematisk vindändring under mätomgången.

I temperaturundersökningarna antas ändringen vara linjär med tiden och ej vara beroende av den enskilda mätpunktens temperaturnivå (t ex Sundborg 1951, s 58 och Lindqvist 1970, s 28). Antagandet av en linjär förändring som är likformigt fördelad över undersökningsområdet är egentligen orimligt, eftersom det innebär att relationerna mellan mätpunkterna kan ändras under den tid det tar att genomföra mätfärden. Detta har diskuterats i en seminarieuppsats av Johansson & Sundwall (1962). De använde sig i stället av korrektioner vars storlek var beroende av bebyggelsetypen.

Även för vindändringen har jag förutsatt en med tiden linjär förändring. Analys av några mätomgångar visade att vindändringen också kunde vara beroende av den enskilda mätpunktens hastighetsnivå på så sätt att i punkter med högre vindhastighet blev vindökningen störst. Eftersom det har varit upp till tolv observatörer som mätt samtidigt på olika slingor, kan man förmoda att slumpmässiga variationer kommer att ta ut varandra så att man genom att jämföra start- och slutmätningar kan beräkna den genomsnittliga vindändringen under mätomgången. Baserat på vindväg- och ventimetermedelvärde, p.25, p.50, p.75 och p.95, har sambandet mellan vindhastighet och vindändring beräknats

$$\frac{dv}{dt} = c + b \cdot v_k \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

där $\frac{dv}{dt}$ är vindändringen per timme, v_k är vindhastigheten vid tidsmitten k och b och c är parametrar bestämda ur den linjära regressionen.

För en vindmätning vid tiden i med en uppmätt vindhastighet v_i blir den korrigerade vindhastigheten v_k

$$v_k = v_i + \Delta v \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

där Δv betecknar vindändringen mellan tiden för uppmätningen, t_i och tidsmitten, t_k

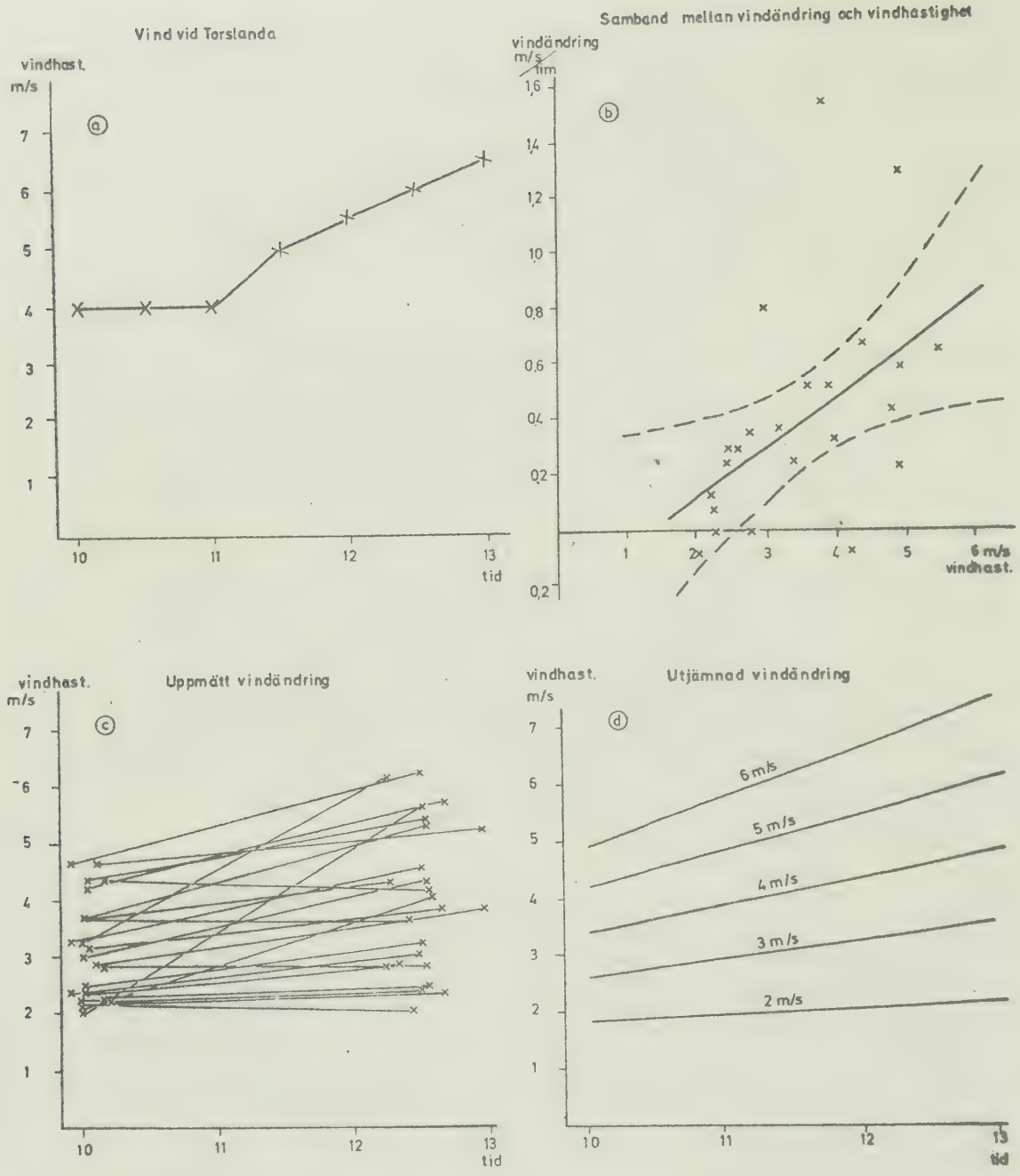


Fig 7.4 Korrektion för basvindändring
a/ vindändring vid Torslanda
b/ vindändring i Göteborgs bebyggelse
c/ vindändringens beroende av vindhastigheten vid tidsmitten för mätningarna
d/ utjämnad vindändring, talen på linjerna anger vindhastigheten vid tidsmitten för mätningarna

Correction for changes of base wind speed
a/ wind change at Torslanda airport
b/ wind change in Göteborg's built-up area
c/ dependence of the wind change on the wind speed at the time-middle of the measurement batch
d/ smoothed wind change, the numbers on the lines shows the wind speed at the time-middle of the measurement batch

$$\Delta v = \frac{dv}{dt} \cdot (t_k - t_i) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Om uttrycket (1) sätts in i (3) erhålles

$$\Delta v = (c + b \cdot v_k) \cdot (t_k - t_i) \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

v_k kan då tecknas

$$v_k = v_i + (c + b \cdot v_k)\,(t_k - t_i) \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

Hyfsas detta uttryck något erhålles

$$v_k = \frac{v_i + (t_k - t_i) \cdot c}{1 - (t_k - t_i) \cdot b} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

För de flesta mätomgångar har genomsnittliga vindändringen varit relativt liten (mindre än 0,2 ms^{-1}/tim). Det kan då synas tveksamt om korrektionen genomsnittligt gett någon förbättring av de mätpunkter som ej ingått i korrektionsberäkningen. Korrigerade värden har därför utnyttjats sparsamt. När vindändringen blir större än ca 0,3 ms^{-1}/tim, kan däremot korrektionen ge en till synes rimligare fördelning av vindhastigheterna. Fig 7.4 ger ett exempel på korrektion för vindändring vid ett av tillfällena med relativt stor vindändring.

Mätprecisionen hos ventimetermätningarna

Standardavvikelsen för 437 parvisa start- och slutavläsningar i mätslingorna har beräknats för såväl okorrigerade som vindändringskorrigerade värden. Korrigeringen medför en minskning av standardavvikelsen med 0,13 m/s för p.95, 0,05 m/s för p.50 och 0,07 m/s för aritmetiska medelvärdet ($\bar{u}$). Hastighetsnivån tycks inte påverka effekten av korrektionen.

Tabell 7.5 Konfidensintervall för vindhastigheter uppmätta med Ventimeter

Confidence limits for wind speeds measured with Ventimeter

Variabel Variable	95% konfidensintervall (m/s) vid olika vindhastigheter 95% confidence limits (m/s) at different wind speeds					
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-
p.95	-	±1,0	±1,2	±1,4	±1,6	±1,6 ?
$\bar{u}$ och p.50	±0,6	±0,8	±1,0	±1,2	±1,4	±1,4 ?

Konfidensintervallen ökar (d v s precisionen minskar) med ökande hastighet. Från 6 m/s tycks det dock ej bli någon ytterligare ökning av standardavvikelsen. Antalet observationer är emellertid relativt litet i detta intervall. De något högre värdena för p.95 beror sannolikt på att denna percentil ligger närmare den extrema delen av fördelningen och således är känslig för enstaka avvikande värden.

Den relativt dåliga precisionen för enskilda värden kan bero på flera faktorer. Den kan vara orsakad av mätinstrument och observatörens skicklighet. Däremot påverkas inte precisionen av skillnader mellan olika observatörer, eftersom beräkningarna bygger på start- och slutmätningar av samma observatör.

Precisionen kan också influeras av faktorer vid mätpunkten. Observatören har kanske inte stått på exakt samma punkt vid de olika mättillfällena. Parkerade fordon intill mätpunkten kan ha förändrat vinden. Observatörerna har haft instruktion att hellre flytta mätpunkten något än att mäta alldeles intill ett parkerat fordon.

Passerande bilar, bussar och spårvagnar kan också påverka mätningen. Detta gäller särskilt då fordonen rör sig mot vinden. En förändring av vindriktningen kan medföra en förändring av det relativa läget för mätplatsen. De sistnämnda båda faktorerna ingår i den normala variationen för mätplatsen och är en del av dess egenskaper.

Skillnad mellan ventimetermedel- och vindvägmedelvärde

Medelvärdesdifferensen mellan de båda mätartyperna har i fält bestämts på grundval av 157 samtidiga mätningar, där ventimetermedelvärdet överstigit 1,3 m/s. Jämförelsen visar att ventimetermedelvärden understigande denna gräns blir för höga i och med att någon '0 m/s klass' ej urskiljts. Genomsnittligt ger vindvägmätaren 0,27 ±0,06 m/s högre värde än ventimeterna, d v s en signifikant medelavvikelse mellan instrumenten. Differensen tycks vara oberoende av hastighetsnivån. För enskilda värdepar kan det däremot bli större skillnader. Konfidensgränserna blir för dessa ±0,8 m/s.

Skillnaden mellan mätarna kan ha orsakats på flera sätt. För det första innebär Lambrechtmätarens konstruktion en viss överskattning av vindhastigheten i jämn vind med ca 0,1 m/s vid de aktuella hastigheterna. För det andra är Ventimetern något känsligare för avvikelser från vindriktningen. Ventimetern har inte heller den hastighetsökning som Lambrechtmätaren har för vissa avvikelseriktningar. För det tredje innebär Ventimeterns konstruktion, en skiva monterad på en vertikal axel, att tyngdkraften gör att skivan snabbt sänks så snart vinden avtar. Lambrechtmätarens konstruktion däremot, turbin på en horisontell axel, gör att propellern vid fallande vindhastighet på grund av trögheten behåller rotationshastigheten längre och därmed ger en för hög hastighet.

Precisionen bör naturligtvis vara bättre för vindvägmätaren än för Ventimetern. Beräknat på skillnaden mellan parvisa mätningar med Ventimeter resp vindvägmätare är precisionen ca 10% mindre för vindvägmätaren. Reservation måste dock göras för att beräkningen endast är gjord på ett fåtal mätningar (10 st).

Skillnad mellan Ventimeterns median- och medelvärde

I vissa fall har medianvärdet använts som mått på vindhastigheten. Beräknat på 487 värdepar med medelvärde ($\bar{u}$) över 2,5 m/s blev resultatet att medelvärdet ligger över medianvärdet. Skillnaden avtar dock med ökande vindhastighet. Begränsningen till medelhastigheter över 2,5 m/s måste göras för att ej erhålla ett systematiskt beräkningsfel. Medianvärdet har ju en undre gräns av 2,0 m/s på grund av Ventimeterns konstruktion. Det innebär att för medelhastigheter nära 2 m/s kan endast de fall där medianen överstiger $\bar{u}$ registreras. Empiriskt har jag funnit att för medelvärden över 2,5 m/s finns det lika möjligheter för medianvärdet att variera på ömse sidor om $\bar{u}$.

Tabell 7.6 Differens mellan aritmetiskt medelvärde och medianvärde

Difference between aritmetic average and median value

Vindhastighet Wind speed $\bar{u}$ (m/s)	2,5-3	3-4	4-5	5-
$\bar{u}$ - p.50	+0,16	+0,12	+0,07	+0,04
95% konf medeldiff 95% conf. mean-diff.	±0,02	±0,02	±0,03	±0,04

Den beräknade precisionen för medelskillnaden synes minska något med vindhastigheten, d v s konfidensintervallen ökar. Detta beror dock ej på vindhastigheten utan på att antalet värden som ingår i skattningen av medelskillnadens varians är mindre för de högre vindhastigheterna, vilket medför en något osäkrare bestämning. Precisionen för enskilda differenser visar inget beroende av vindhastigheten och har beräknats till ±0,46 m/s.

Orsaken till skillnaden mellan median- och medelhastighet kan sökas i att fördelningen är skevare vid de lägsta hastigheterna med en förhållandevis lång 'svans' mot höga värden (d v s enstaka höga värden). För de högre genomsnittliga hastigheterna blir fördelningen mer symmetrisk, vilket ger mindre skillnad.

8. VINDENS BYIGHET

Hur stor variation kring vindens medelvärde som mäts upp beror på vindmätarens konstruktion, d v s hur snabbt den reagerar på en vindändring och om den mäter den momentana vinden eller medelvind mellan två avläsningar. I det sistnämnda fallet är tiden mellan avläsningarna av stor betydelse för hur stora vindbyar som kan mätas upp. Dessutom beror vindens byighet på omgivningens karaktär och den allmänna hastighetsnivån. Vindens byighet yttrar sig inte bara som variation i hastighet utan också som variation i vindriktning.

Mätartypens inverkan på uppmätning av vindstötar

Vinden karakteriseras ju inte bara av sin medelhastighet utan också av de mer eller mindre kortvariga avvikelser från medelvärdet. Vinden är uppbyggd av återkommande vindbyar från korta snabba vindstötar med en varaktighet på mindre än en sekund till mer långperiodiska svängningar. Uppmätningen av medelhastigheten påverkas inte i särskilt hög grad av vindmätarens konstruktion. Däremot blir uppmätningen av vindstötar beroende dels av massan på de rörliga delarna i mätaren i förhållande till den yta som utsätts för vindkraften, dels på om mätaren registrerar den momentana vindhastigheten eller integrerar över tiden. Fig 8.1 visar exempel på avläsningar gjorda under en sexminutersperiod med vindvägmätare (Lambrecht) och byvindmätare (Ventimeter). Som väntat ger ventimeterns momentanvärden var 10:e sekund större variation än vindvägmedelvärden per 10 sekunder.

Mättidens inverkan på uppmätt vindhastighet

Egna undersökningar

För en byvindmätare gäller att ju kortare responstid instrumentet har desto högre blir den observerade vindstöten. Responstiden är också av betydelse för vindvägmätare, men det är framför allt avläsningsintervallet, som är av betydelse för vilken hastighet som observeras på vindstötarna. I fig 8.1 kan man klart se hur variationerna jämnas ut då avläsningsintervallet ökar

Sambandet mellan avläsningsintervall och högsta registrerade vindhastighet har jag tidigare undersökt (Holmer 1970, s 10). Högsta vindhastighet (u_t) för ett intervall om t sek plottades i log-log-skala. Samma metod att bestämma effekten av den intervallängd som används för medelvärdesberäkningar har utnyttjats av Handa & Kärrholm (1976, s 49) vid en undersökning av vindtrycket på plana tak.

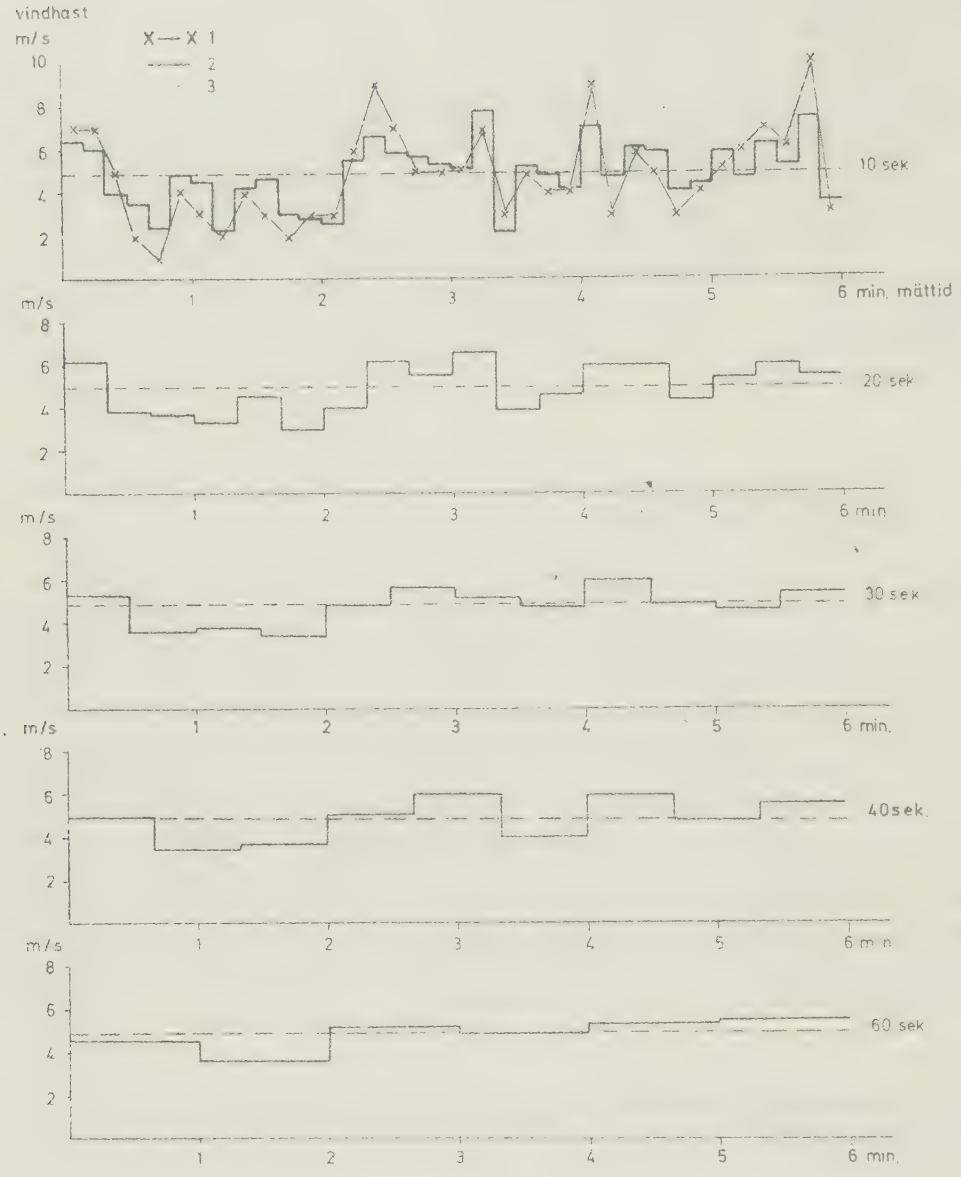


Fig 8.1 Exempel på hur mätartyp och avläsningsintervall påverkar observerade vindhastigheter. Byvindmätaren ger större variation än en vindvägmätare vars variationer blir utjämnad med ökande mättid.

Examples of the influence of anemometer type and interval between two readings on the observed wind speeds. The gust anemometer gives greater variation than a wind-way anemometer. The variations are smoothed with increasing interval between two readings.

1 - byvindmätare (gust anemometer)
2 - vindvägmätare (wind-way anemometer)
3 - medelvindhastighet (average wind speed)

Ett linjärt samband har i ett log-log-diagram formeln

$$\log u_t = \log a + b \cdot \log t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

där a och b är parametrar som beror på bl a vindhastighet och mätartyp.

Uttrycket (1) kan skrivas

$$u_t = a \cdot t^b \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Om man för intervallängden T löser ut a

$$a = u_T \cdot T^{-b} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

och sätter in detta uttryck i (2) erhålles

$$u_t = T^{-b} \cdot u_T \cdot t^b \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Parametern b har empiriskt bestämts som lutningen hos de räta linjerna i log-log-diagrammet. I varje enskilt fall har lutningen mellan u_{10}, u_{20}, u_{40}, u_{80} samt u_{160} beräknats. På detta sätt framgick att sambandet mellan u_t och t kan betraktas som linjärt. I klasser om 2 m/s för u_{10} har linjära samband bestämts mellan b och log u_{10}. Vid beräkningen delades materialet upp på 'fria ytor' och 'sluten bebyggelse' (tabell 8.1).

Tabell 8.1 b-parameterns beroende av vindhastighet och omgivning

The dependence of wind speed and surrounding on the b-parameter

b-värde	Maximal vindhastighet i m/s för 10-sekundersintervall Maximum wind speed in m/s for intervals at 10 seconds		
	5	10	20
fria ytor open areas	-0,18	-0,15	-0,12
sluten bebyggelse closed building blocks	-0,24	-0,26	-

För de fria ytorna avtar det numeriska värdet på b-parametern med ökande hastighet, d v s skillnaden mellan vindbyar av olika längd blir relativt sett mindre. För den slutna bebyggelsen är förhållandet det motsatta, det numeriska b-värdet ökar och därmed även den relativa skillnaden mellan vindbyar av olika längd.

Den fysikaliska förklaringen till skillnaden i b-värde mellan fria ytor och sluten bebyggelse torde vara att bebyggelsen genom sin större friktion ger upphov till kraftigare turbulens. Denna turbulens gör att medelhastigheten i bebyggelsen blir avsevärt lägre än vad som är fallet med de fria ytorna. Men i och med att vindhastigheten är hög på högre nivå föreligger potentiella möjligheter för

enstaka turbulenskroppar med höga vindhastigheter att kunna komma ner mot marken mellan husen.

Sambandet mellan uppmätt maximal vindstöt och intervallängd kan extrapoleras mot kortare tider för att få någon uppfattning om de kortvariga vindstötarna (fig 8.2). Hur långt man kan utsträcka en sådan extrapolering med någon grad av rimlighet är osäkert. Ett försök med filmning av vindmätaren antydde att det vid en intervallängd av 1 sekund fortfarande gick att utnyttja uttrycket (4). Vid så korta intervall måste emellertid instrumentets tröghet och responstid noga övervägas, innan man drar några långtgående slutsatser.

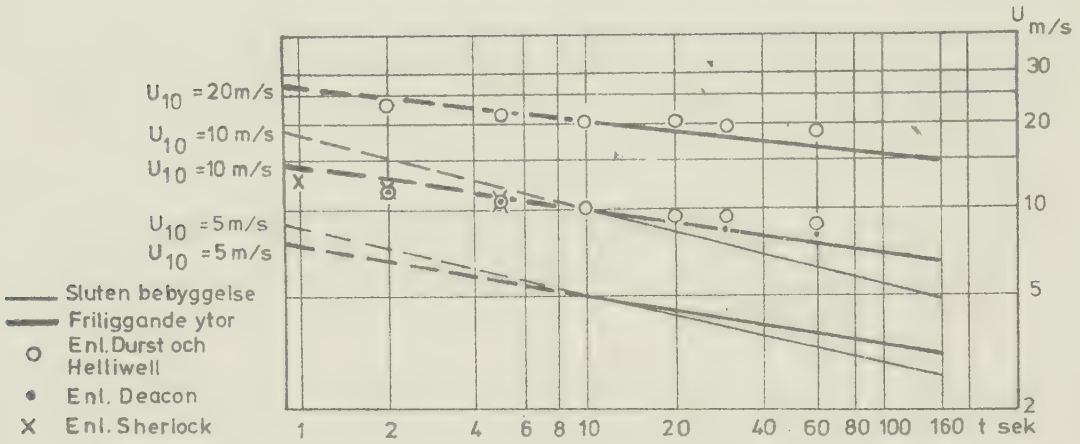


Fig 8.2 Samband mellan högsta observerade vindhastighet med avläsningsintervall av olika längd. Streckade linjer - extrapolerade värden.

Co-variation between maximum observed wind speed and averaging time. Thick line - open areas, thin line - closed building blocks, dashed lines - extrapolation.

Septemberstormen 1969 i Göteborg orsakade stor förödelse både på vegetation och byggnader. Vindhastigheten var som störst vid 10-tiden, då Vinga hade 31 m/s. Vid de mätningar jag utförde kring den tidpunkten var högsta uppmätta 10-sekundersintervall 17 m/s för fria ytor och för den slutna bebyggelsen 13 m/s. Vid den sistnämnda vindstöten slets ett antal tegelpannor av hustaket och föll i gatan några få meter från mätplatsen, vilket bestyrker att vindstöten var extrem. Insatt i uttrycket (4) blir maximala 1-sekundsvindstöten 23 m/s resp 24 m/s, d v s av samma storleksordning trots en avsevärd skillnad i medelhastighet.

Jämförelse med andra undersökningar

Sambandet mellan vindstötar och medelvind anges ofta som en vindbyfaktor, definierad som kvoten mellan vindstötens hastighet och medelvindhastigheten. Ibland har man angett vindstötens varaktighet (2 sek, Frenkiel 1963; 15 sek, Cehak 1969; 5 sek, Wieringa

1973) medan man i andra undersökningar inte gjort det (Goldie 1925, Davis & Newstein 1968), vilket försvårar jämförelser mellan olika undersökningar.

Jämförelser av vindbyfaktorn underlättas inte heller av att samplingstiden för bestämning av vindstötar och medelvind varierar (10 min, Shellard 1963; 16 min, Frenkiel 1963; 60 min, Cehak 1969, Wieringa 1973) och av att olika metoder används för beräkning av vindbyfaktorn. Wieringa (1973, s 429) förespråkar att medianvärdet av de olika försöksseriernas vindbyfaktorer skall användas i stället för det vanligen använda aritmetiska medelvärdet för att undvika inflytandet av enstaka extrema uppmätningar. Gold 1936, s 189) har noterat att under situationer där medelvindhastigheten för delar av hela den undersökta tiden varierar kring ett visst värde är byighetsfaktorn större vid de tillfällen, då medelvinden är mindre än totalmedelvärdet.

Wieringa (1973, s 426) delade upp sina mätningar efter Pasquills stabilitetsklasser. Som väntat visade det sig att vindbyfaktorn var större vid labila skiktningar än vid stabila.

Med ökande höjd över marken avtar byighetsfaktorn. Detta framgår indirekt av mätningar av vindökningen med höjden för medelvind och vindbyar av Sherlock (1952, s 19) och Deacon (1955, s 570). Direkta bestämningar av vindbyfaktorns avtagande med höjden har utförts av Helliwell (1970) ovan bebyggelsen i London. Goldie (1925, s 357) hävdade delvis på teoretiska grunder att vindavtagandet med höjden är exponentiellt.

I några undersökningar har vindbyfaktorns beroende av mätintervallets längd studerats (Sherlock 1952; landsbygd, Durst 1960; förortsområde, Deacon /refererad av Munn 1970/; storstad, Helliwell 1970; sjö, Wieringa 1973). Deras värden har lagts in i fig 8.2 för jämförelse med mina värden.

Dessa mätningar visar mindre vindökning när mätintervallet minskar än mina observationer. Detta kan tolkas på flera sätt. Mätarna de använt kan ha haft större tröghet än den lilla Lambrecht-mätare jag använt. Skillnaden gentemot mina värden bör också vara beroende på att mina mätningar är gjorda 1,6 m ovan markytan medan de övrigas är utförda på högre höjd. Skillnaden mellan mina värden och de övrigas blir större vid låga vindhastigheter. Av Wieringas (1973, Tabell I) värden framgår också att vindbyfaktorn ökar med avtagande vindhastighet.

Vindfördelningen

För de enskilda mätningarna har vindens fördelning karakteriserats genom att några percentiler bestämts (p.25, p.50, p.75 och p.95). Med ökande medelhastighet ökar percentilerna linjärt, vilket redan tidigare konstaterats (Holmer 1970, s 9).

För varje mätomgång har sambandet mellan p.50 och övriga percentiler bestämts. Grupperas mätomgångarna efter vindhastigheten vid Torslanda visar det sig att sambandet påverkas av basvind-

nivån (fig 8.3). Percentilerna över p.50 (p.75 och p.95) blir förhållandevis högre, när basvindhastigheten vid Torslanda ökar. För p.25 blir förhållandet det omvända. Det innebär att turbulensen blir större ju högre den allmänna hastighetsnivån är. Med högre p.50-hastighet minskar effekten av olika basvindhastighet på vindfördelningen.

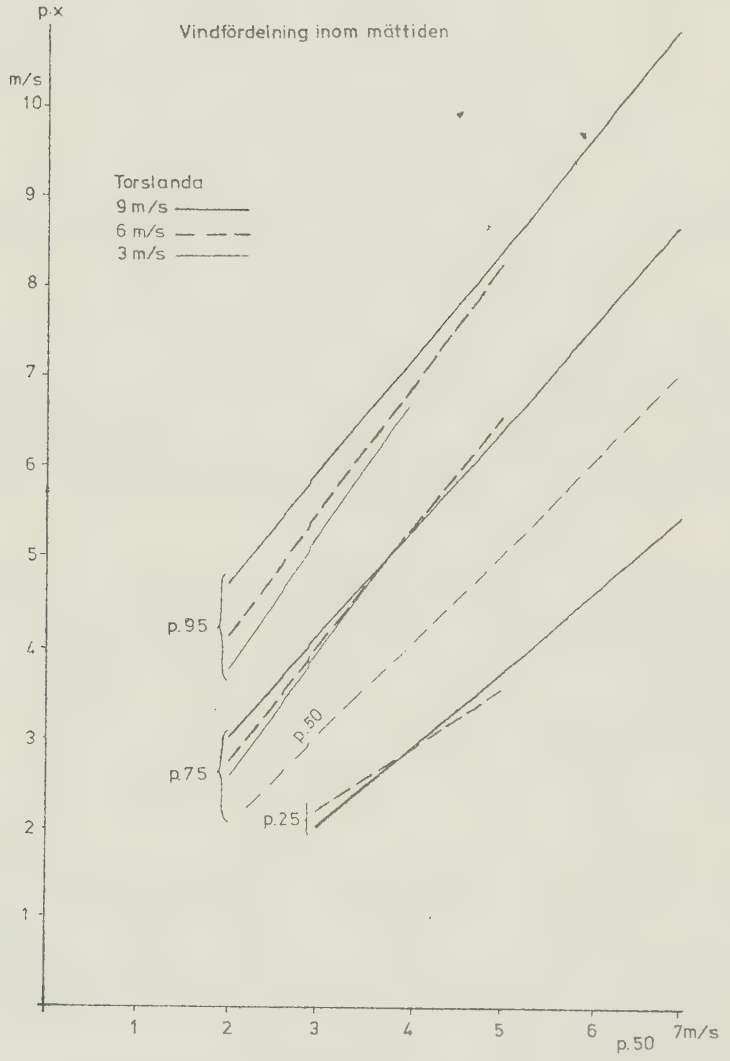


Fig 8.3 Vindhastighetsfördelningen inom mättiden vid olika basvindhastigheter

Distribution of wind speeds during the measuring time (6 minutes) at different base wind speeds at Torslanda

Spridningen kring linjerna är större ju högre percentil det gäller och ju högre basvindhastigheten är vid Torslanda (tabell 8.2).

Tabell 8.2 Restvariansen (m^2/s^2) för percentilernas samband med p.50

Residual variance (m^2/s^2) of the co-variation of p.50 and other percentiles

Percentil	Basvindhastighet vid Torslanda (m/s) Base wind speed at Torslanda air port (m/s) 3	6	9
p.95	0,23	0,45	0,66
p.75	0,15	0,09	0,13
p.25	-	0,05	0,09

Kring medelpunkten för resp linje ger detta konfidensintervall som varierar mellan $\pm$ 0,4 m/s och $\pm$ 1,2 m/s. På rent statistiska grunder ökar dessa något, när man avlägsnar sig från medelvärdespunkten. Hur mycket beror på observationernas fördelning längs linjen (Brownlee 1965, s 342).

B y i n d e x

Som mått på byigheten i en mätpunkt har jag huvudsakligen använt mig av kvoten mellan p.95 och p.50, vilket ger tal som alltid är större än 1.

Dessutom har jag för en mindre del av mätningarna beräknat byigheten uttryckt som variationskoefficient, d v s kvoten mellan standardavvikelsen för observationerna och medelvärdet. Durst (1960) utgick från detta värde vid sina beräkningar av maximala vindstötar och Heywood (1931, s 449) hade ungefär samma tankegång när han utnyttjade förhållandet mellan genomsnittlig bredd på vindregistreringen och medelhastigheten som mått på byigheten.

De båda sätten att beskriva hastighetsvariationerna betonar olika sidor av byigheten. I variationskoefficienten ingår alla avläsningar, vilket medför att detta mått ger medelbyigheten. I percentilindex är det framför allt de högsta värdena som kommer att påverka indexet. Tolkningen av de bägge måtten ger dock samma tendenser.

Byigheten ökar med ökande basvind. Däremot avtar byigheten relativt sett med ökande hastighet i en mätpunkt (tabell 8.3). Det innebär att ökande basvindhastighet ger möjlighet till höga vindstötar, vilket får störst effekt på index vid de låga hastigheterna. De mätpunkter som har mindre byighet kommer i stället att få högre medelhastighet. Spridningen kring gruppmedelvärdena tycks vara oberoende av vindhastigheten vid såväl

mätpunkten som Torslanda.

Tabell 8.3 Byindex

Gust index

Mätpunkt Measuring point		Basvindhastighet vid Torslanda (m/s) Base wind speed at Torslanda (m/s)		
index index	vindhastighet wind speed	3	6	9
p.95 / p.50	1-2	1,92	2,14	2,61
	2-3	1,86	1,97	2,18
Precision för enstaka observ. ± 0,51	3-4	1,71	1,78	1,92
	4-5	-	1,73	1,75
	5-6	-	-	1,61
Precision for single observations	6-7	-	-	1,57
	7-	-	-	1,47
s / u	1-2	0,50	0,55	0,58
	2-3	0,47	0,51	0,56
standard deviation / average wind speed	3-4	-	0,39	0,47
	4-5	-	-	0,41
	5-6	-	-	0,29
Precision för enstaka observ. ± 0,20	6-7	-	-	0,25
Precision for single observations				

V i n d r i k t n i n g s i n d e x

Vinden varierar inte bara i hastighet utan även i riktning. Detta har uttryckts med standardavvikelsen för vindriktningen av Graham (1968) och Munn & Reimer (1970). På grund av vindens stora riktningsvariationer och den grova vindriktningsindelning jag därför använt har inte denna metod kunnat utnyttjas. Som mått på riktningsbyigheten har jag istället beräknat kvoten mellan resulterande vindhastighet - d v s vindhastigheterna adderade med hänsyn till den vindriktning de haft vid avläsningstillfället, dividerat med antalet observationer - och medelhastighet (utan hänsyn till riktning). Om det endast förekommit en enda riktning blir kvoten 1, om två eller flera riktningar förekommit blir kvoten alltid mindre än 1.

För en bestämd basvindhastighet vid Torslanda ökar riktningsstabiliteten med ökande hastighet i mätpunkten (tabell 8.4). Detta är samma förhållande som gäller för hastighetsbyigheten, att ju högre vindhastighet en mätpunkt har vid en viss basvind, desto jämnare blir vinden.

Ser man däremot på ett visst hastighetsintervall vid mätpunkterna avtar riktningsstabiliteten med ökande basvindhastighet. Förklaringen ligger i att genomsnittligt höjs mätpunkternas medelhastighet med ökande basvind. Det torde vara så att det är just den ökade möjligheten till turbulens vid högre basvindhastighet som gör att där den får tillfälle att utvecklas kommer den att medföra sänkt medelhastighet.

Precisionen hos de beräknade riktningsindexen blir bättre med ökande mätpunkthastighet vid en viss basvind. Precisionen blir däremot sämre vid ökande basvindhastighet för ett bestämt hastighetsintervall för mätpunkterna.

Tabell 8.4 Riktningsstabilitetsindex
Index of lateral gustiness

Vindhastighet vid mätpunkten Wind speed at measuring point	Basvindhastighet vid Torslanda Base wind speed at Torslanda airport		
	3	6	9
1-2	0,77 ± 0,38	0,75 ± 0,44	0,73 ± 0,46
2-3	0,87 ± 0,18	0,85 ± 0,21	0,82 ± 0,34
3-4	-	0,89 ± 0,19	0,88 ± 0,16
4-5	-	0,94	0,91 ± 0,11
5-6	-	-	0,94 ± 0,05
6-	-	-	0,93

9. VINDHASTIGHETER I BEBYGGELSEN

Det mest iögonenfallande draget när man studerar vinden mellan byggnader är de till synes låga hastigheterna. Men då bör man omedelbart dra sig till minnes att de vindhastigheter man hör talas om oftast gäller kuststationer i utsatta lägen och att mätningarna gjorts på ca 10 m över marken eller t o m i toppen på mer än 40 m höga fyrtorn. Vindhastigheten avtar snabbt inåt land (jfr Vinga och Torslanda). Tyngdpunkten i mitt undersökningsområde ligger ytterligare 1 mil inåt land från Torslanda. Även torslandavärdena kan därför vara något för höga för en direkt jämförelse av hur mycket vinden reduceras i bebyggelselandskapet. Vindreduktionen orsakas av topografin, bebyggelsen och vegetationen. Ibland kan det åtminstone i vissa mätpunkter förekomma vindökning.

Vindreduktionen i bebyggelsen i Göteborg

Medelhastighet

Mäthöjden vid Torslanda är 10 m och mina mätningar är gjorda 1,6 m ovan marken. Ur vissa synpunkter är det därför missvisande att göra direkta jämförelser mellan mina värden och Torslandas. Det är emellertid möjligt att göra en approximativ uppskattning av vinden vid Torslanda på 1,6 m höjd. Vindändringen med höjden antas följa en potensfunktion

$$\frac{v_h}{v_H} = \left(\frac{h}{H}\right)^a$$

där v_h och v_H är vindhastigheterna på höjderna h och H och där a är en exponent för vindhastighetens höjdtilltagande beroende på underlagets råhet. Carruthers (1943, s 292) har empiriskt bestämt exponenten för öppen, lätt kuperad terräng till 0,17. För Torslanda innebär detta att vinden på 1,6 m är knappt 75% av vinden på 10 m höjd.

Vindmätaren på Torslanda är av skålkorstyp och ger medelvärde över 10 minuter. Om denna antas reagera som de vindvägmätare jag använt, bör ventimetervärdena för en direkt jämförelse ökas med 0,3 m/s.

I fig 9.1.a har de medelhastigheter som underskridits i 50 resp 95% av alla mätpunkter i en mätomgång lagts in. Fig 9.1.b är ett försök att justera skalorna för olikheter i mäthöjd och mätartyp. De snedställda linjerna över diagrammen anger den procentuella vindreduktionen i vindfältet jämfört med Torslanda.

Direkt jämförda med Torslanda reduceras den medelhastighet som

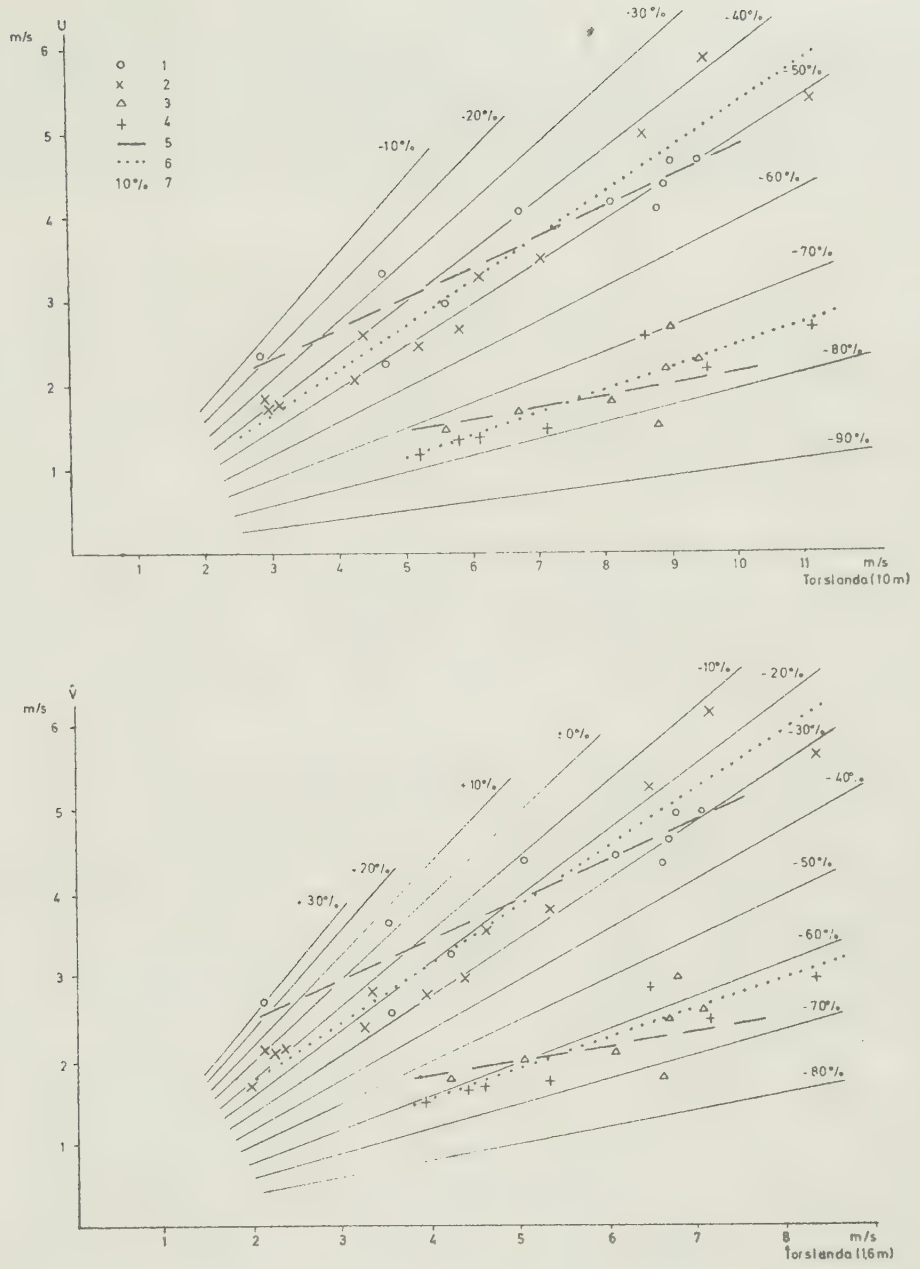


Fig 8.1 Sambandet mellan basvinden vid Torslanda och medelhastigheten i vindfältet i bebyggelsen i Göteborg
a) uppmätta värden b) värden korrigerade för skillnader i mätartyp och mäthöjd

Co-variation between the base wind at Torslanda airport and the average wind speeds in the wind field of the built-up area in Göteborg
a) recorded values b) values corrected for anemometer type and measuring height

1, 2 - medelhastighet underskriden i 90% av mätpunkterna sommar resp. vinter (average wind speed not exceeded by 90% of the measuring-points in summar resp. winter)
3, 4 - som 1 och 2, men avseende 50% av mätpunkterna (as 1 and 2, but regarding 50% of the measuring-points)
5, 6 - regressionslinjer för sommar resp. vinter (regression lines for summer resp. winter)
7 - vindfältets procentuella avvikelse från basvinden (departure in % of the wind field from the base wind)

överskrids i hälften av mätpunkterna i bebyggelsen med ca 75% (fig 9.1.a). Med hänsyn tagen till olikheter i mäthöjd och instrumenttyp (fig 9.1.b) blir reduktionen mindre - ca 60-65%. Skillnad i mäthöjd är sannolikt den viktigaste orsaken till att mina värden visar större vindreduktion än den som erhållits i andra undersökningar (Frederick 1961, Graham 1968, Landsberg 1970).

De medelhastigheter som överskrids i 5% av mätpunkterna är, enligt de omräknade värdena, reducerad med 15-30%. Vid låga vindhastigheter kan det förekomma vindökning i bebyggelsen jämfört med Torslanda. Vindökning i bebyggelsen vid låga basvindhastigheter har tidigare observerats i London (Chandler 1970, s 6). Fenomenet antas bero på att turbulensen i bebyggelsen kan föra ner höjdvindar, som höjer medelhastigheten.

Vindriktningen tycks inte ha någon effekt på vindfältets genomsnittsnivå. Däremot verkar de 5% mest utsatta mätpunkterna få något (ca 10%-enheter) högre vindhastighet vid vind från SV och V än vid andra vindriktningar. De västliga vindriktningarna är emellertid inte särskilt väl företrädda, vilket gör jämförelsen osäker.

Det tycks vara en årstidsvariation i förhållandet mellan Torslanda och Göteborgs vindfält. Vid högre vindhastigheter vid Torslanda är vinden i bebyggelsen sommartid lägre än vintertid (ca 5%-enheter jämfört med Torslanda vid 9 m/s). Vid låga basvindhastigheter är förhållandet omvänt så att sommarvärdena är högre än vintervärdena. Differensen mellan 'sommar' och 'vinter' bör egentligen vara större, eftersom sommarvärdena avser försommarsituationer, när vegetationen inte är färdigutvecklad, och vintervärdena snöfria situationer.

De dämpade sommarvärdena vid högre basvindhastigheter kan enklast förklaras av att lövträden då har en stor bladmassa som minskar vindhastigheten. Vid en undersökning av bladmassans effekt på vindhastigheten fann Frederick (1961, s 41) att sommartid var vindreduktionen i bebyggelsen ca 55% och vintertid ca 45%. Han ansåg emellertid att denna differens berodde på att vindmätarna i bebyggelsen hade högre starthastighet än mätarna vid flygplatserna utanför bebyggelsen, vilket betydde mest under sommaren med dess låga basvindhastigheter och att den starkare vintervinden var mindre stabil och således hade lättare att penetrera mellan husen.

Förklaringen till att sommarvärdena är högre än vintervärdena vid låga basvindhastigheter kan vara att även Torslanda är påverkat av lövträd i sin omgivning och denna vindreduktion blir mest märkbar vid låga hastigheter. En annan möjlighet är att luften är mindre stabil på sommaren på grund av den kraftigare instrålningen. Detta medför att luften får lättare att röra sig i vertikalled, vilket bör medföra ökade möjligheter att få ned höjdvindar mot marken kring byggnaderna. Även i detta fall skulle den relativa effekten vara mest framträdande vid svaga basvindar.

Om Fredericks (1961, s 41) värden från Nashville i Tennesse räknas om till m/s och plottas i ett diagram med samma uppbyggnad som fig 9.1 blir resultatet att linjerna för sommar- och vintervärden korsar varandra på samma sätt som för Göteborg.

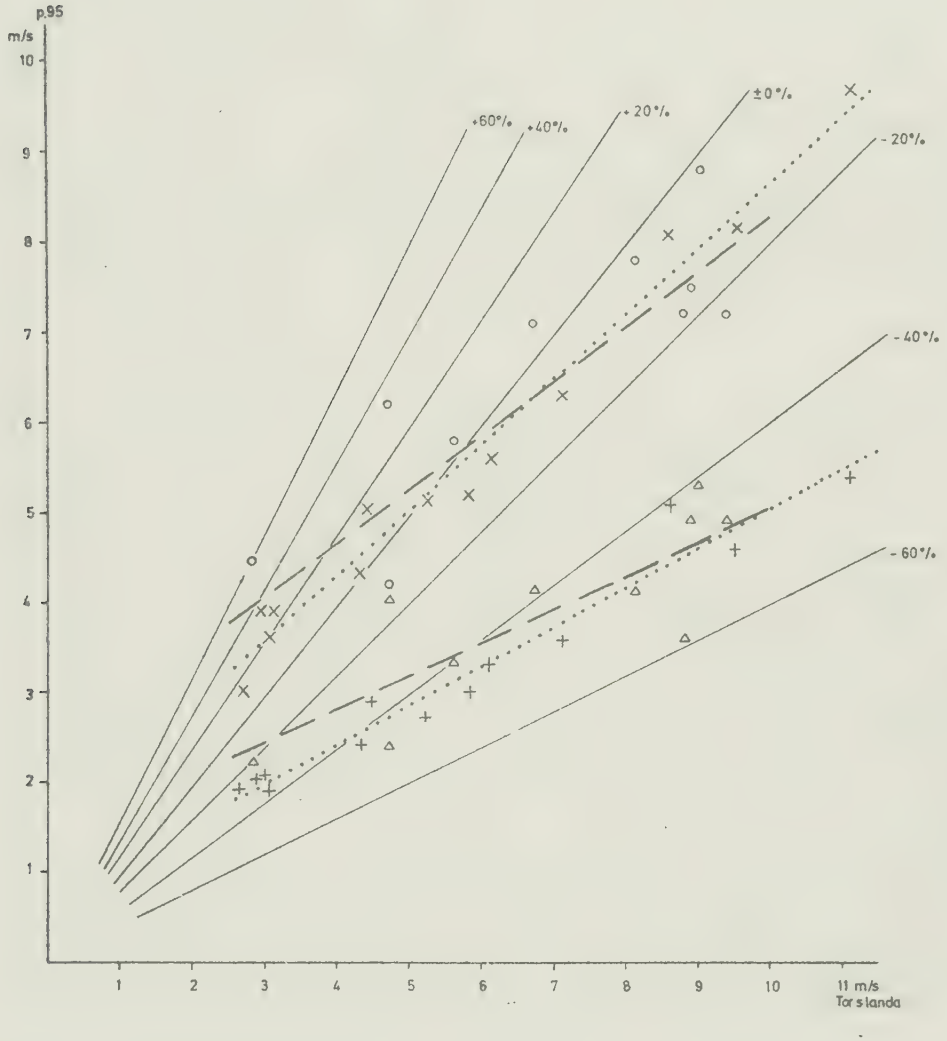


Fig 9.2 Sambandet mellan basvinden vid Torslanda och vindstötarna (p.95) i vindfältet i bebyggelsen i Göteborg. Beteckningar, se fig 9.1.

Co-variation between the base wind at Torslanda air port and the gusts (p.95) in the wind field of the built-up area in Göteborg. Symbols, see fig 9.1.

Vindstötar

Vindstötarna (p.95) ligger genomsnittligt ca 40% under den medelvind som registreras vid Torslanda (fig 9.2). De är relativt sett något starkare vid låga hastigheter (30% under) och

något svagare vid högre basvindhastigheter (50% under). De 5% av mätpunkterna som är mest utsatta har vindstötar som är av samma storleksordning som basvinden vid Torslanda. De är, som för genomsnittsvärdena, något lägre vid högre basvindhastigheter (-10%) och något högre (+20%) för låga vindhastigheter vid Torslanda. Förhållandet mellan sommar- och vintervärden är i huvudsak samma som för medelhastigheten.

V i n d r e d u k t i o n e n i s m å t ä t o r t e r

Jämförelsen mellan Torslanda och Göteborg är något haltande beroende på skillnaderna i mätartyp och mäthöjd. Vinden påverkas dessutom i Göteborg inte bara av bebyggelsen utan även av topografin. För att kunna göra direkta jämförelser mellan öppen yta och bebyggelse har jag utfört några mätningar i och utanför små tätorter på Västgötaslätten. En annan frågeställning som jag ville få svar på genom dessa mätningar var om vindreduktionen ökade med tätortens storlek.

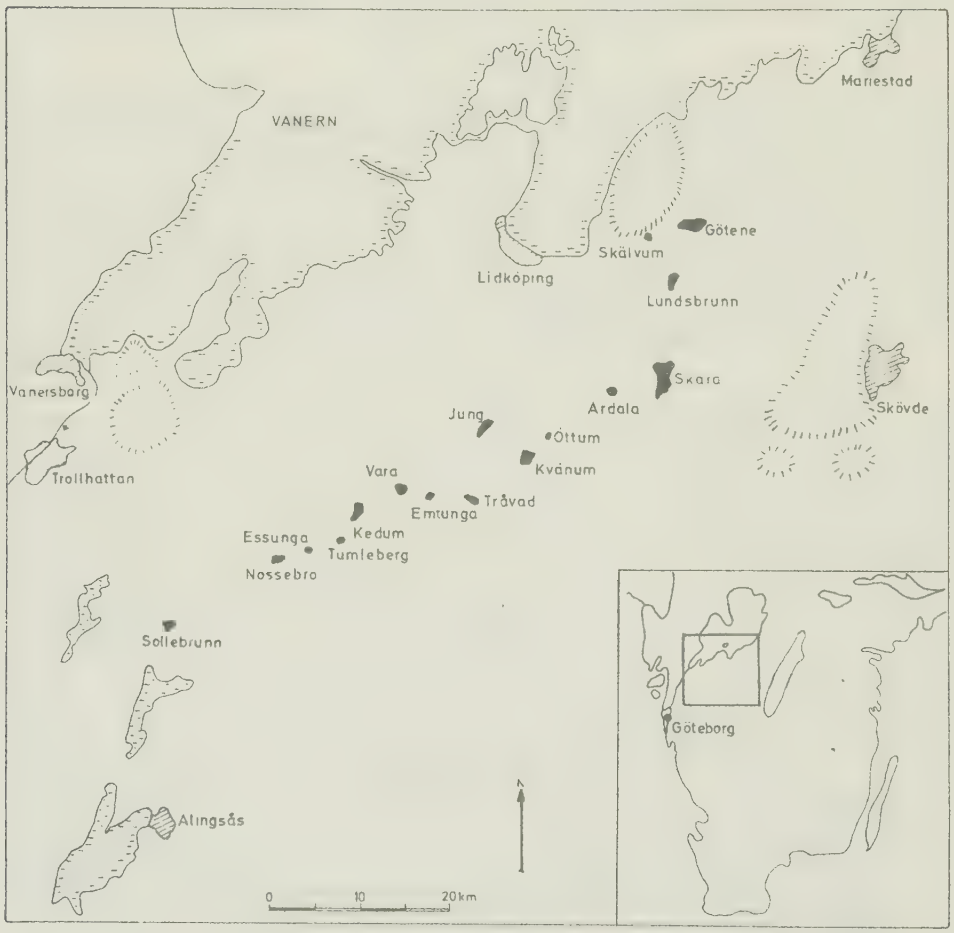


Fig 9.3 Undersökningsområden i Västergötland (markerade med svart

Investigated villages on the Västergötland plain (marked with black)

Beskrivning av mätningarna

De utvalda orterna (fig 9.3) ligger i ett band i sydväst-nordost över Västgötaslätten, som till största delen är jordbruksbygd med sparsamt förekommande skogspartier. Detta gäller i särskilt hög grad det centrala området kring Vara. Tätortsarealen varierar enligt ekonomiska kartan och en del egna kompletteringar för nytillkommen bebyggelse mellan 0,1 km^2 och 1,94 km^2. Bebyggelsen består till övervägande delen av villor, som ofta är omgivna av relativt lummiga trädgårdar. I de större tätorterna - Götene, Vara och Skara - finns en kärna av låg sluten kvartersbebyggelse och vissa områden med låg, fritt grupperad bebyggelse. Högre bebyggelse saknas med undantag för spannmålssilona i Kvänum och Vara samt domkyrkan i Skara.

Två mätserier har utförts. Dels en i orterna Emtunga, Tråvad och Vara i juni 1971 med karaktär av förundersökning, dels en omfattande de 16 i fig 9.3 med svart markerade orterna i maj 1972. Ett lag om fyra observatörer utförde mätningarna 1971 och två lag om vardera tre observatörer genomförde mätningarna 1972. Samtliga observatörer hade som mätutrustning en 'Ventimeter'. Varje mätlag hade dessutom en vindvägmätare.

Vid den större undersökningen i maj 1972 började ena mätlaget i Sollebrunn och det andra i Kvänum. På resp. delsträcka mättes varannan ort på utresan och varannan på återfärden. Utanför tätorterna stod observatörerna uppställda med några meters mellanrum och mätte samtidigt vindhastigheten, vilket gav möjlighet att direkt jämföra observatörernas resultat. Inom tätorterna spriddes observatörerna ut till olika mätpunkter. I de minsta tätorterna (mindre än 0,3 km^2) mättes i en mätpunkt utanför och tre mätpunkter inom bebyggelsen. I de något större orterna (Kvänum och Nossebro 0,5-0,6 km^2 samt Götene 1,1 km^2) mättes i två mätpunkter utanför och sex mätpunkter inom bebyggelsen. Förutom de två mätpunkterna utanför bebyggelsen mättes i Vara (1,5 km^2) 10 mätpunkter och i Skara (1,9 km^2) 21 mätpunkter inom bebyggelsen.

Vädret var både vid mätningarna 1971 och 1972 av kalluftmassetyp med växlande molnighet och med genomsnittligt svag, men ganska byig vind. Medelvindhastigheten låg utanför bebyggelsen i båda mätserierna strax under 2,5 m/s, vilket bör motsvara 3-3,5 m/s på tiometersnivån. I samband med att högt upptornade cumulusmoln passerade kunde dock vinden öka kraftigt. Utanför Jung uppmättes vid ett sådant tillfälle medelvindhastigheten 6,7 m/s.

Resultat

I fig 9.4 a och b redovisas de uppmätta kombinationerna av vindhastigheter utanför och inom bebyggelsen i de olika orterna för vindvägmedelvärde och vindstötar (p.95). Spridningen är betydande, vilket åtminstone delvis beror på vädertypen. På samma sätt som sommarvärdena för Göteborg (fig 9.1 och 9.2) visar mätningarna i Västergötland att med ökande basvindhastighet ökar vindreduktionen i bebyggelsen. Vindreduktionen är mindre än i Göteborg.

Man bör dock inte hårddra denna skillnad, efter Göteborg har en markerad topografi och framför allt med tanke på att basvinden vid Torslanda inte är uppmätt på samma sätt som i mina mätpunkter.

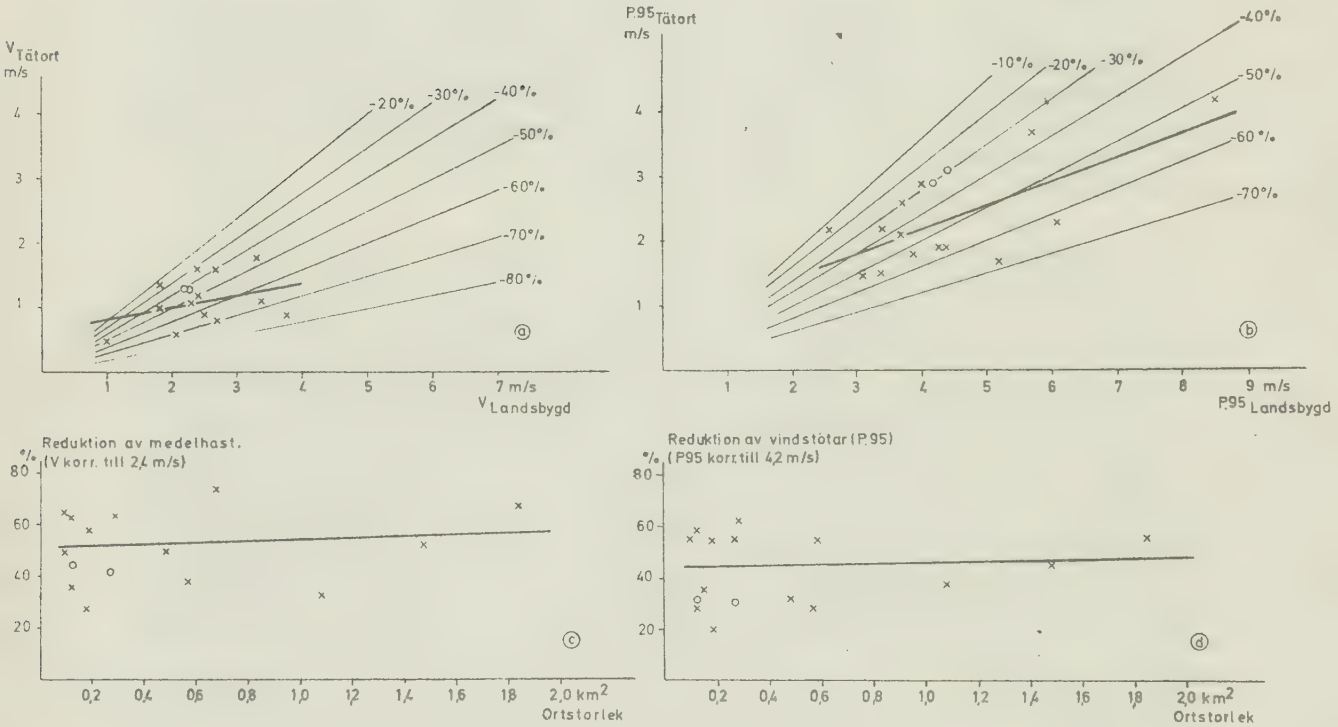


Fig 9.4 Resultat av mätningarna i och utanför små tätorter.
a/ och b/ Sambandet mellan vindhastigheten utanför och i små tätorter. De tunna linjerna anger den procentuella ändringen av vinden inom tätorten i förhållande till vinden utanför.
c/ och d/ Sambandet mellan vindhastighet och tätortsstorlek.

Results of the measurements in and outside small villages.
a/ and b/ Co-variation between the wind speed in and outside the villages. The thin lines show the change in percent of the wind speed in the villages compared with the wind speed outside.
c/ and d/ Co-variation between the reduction of wind speed and the area of the villages.

Sambandet mellan ortsstorlek och vindreduktion påverkas av basvindhastigheten. Om vindreduktionen med hjälp av fig 9.4.a och b korrigeras till medelvärdet för vindväghastigheten resp. vindstöthastigheten (p.95) erhålles fig 9.4.c och d. Den av bebyggelsen orsakade vindreduktionen av medelvindhastigheten ökar från ungefär 51% för de minsta orterna till 56% för en ort av Skaras storlek. Motsvarande värden för vindstötar är 44% resp. 47%. De erhållna sambanden kan synas svaga. Extrapoleras de till en ort av Göteborgs storlek (mer än 200 km^2) erhålles emellertid vindreduktionstal på mer än 100%.

Kring de höga silobyggnaderna och Skara domkyrka förekommer vindskärpningar. I Vara uppmättes 1971 medelhastigheten 4,9 m/s intill silon, som ligger strax utanför bebyggelsen, medan landsbygden utanför hade 1,7 m/s. Det innebär 2 1/2 - 3 gångers vindökning.

Vindhastighetens variation inom ett bebyggt område i Gårdsten

Kring den genomsnittliga vindhastigheten för bebyggelsen som helhet varierar vinden avsevärt i enskilda mätpunkter. Som exempel på de faktorer och på storleksordningen av vindvariationerna inom ett område skall vindhastigheterna, uppmätta med vindvägmätare, i två profiler i Gårdsten (fig 9.5) diskuteras.

Norra profilen

I den norra profilen var vindhastigheten på öppna ytor drygt 3,5 m/s. Framför husen i västra Gårdsten sjönk vindhastigheten (sammanflödeszonen från lovartvirveln?). De trånga passagerna till gårdarna gav upphov till en svag vindökning jämfört med den öppna ytan. Inne på gårdarna var vinden starkt turbulent och med låg medelhastighet. Passagen mellan gårdarna under det öst-västliga huset gav en enhetlig vindriktning och en vindökning jämfört med gården. På läsidan var vinden än svagare beroende på läläge både i förhållande till bebyggelse och topografi.

På lovartsidan av den låga skolbyggnaden ökade vinden något och på läsidan avtog den kraftigt. Lekplanen i dalen hade låga vindhastigheter (mindre än 1 m/s) beroende på det topografiska läget men framförallt beroende på att lekplatserna inramas av meterhöga jordvallar med täta pilbuskage.

På den öppna flacka östra dalsidan var vindhastigheten åter dryga 3,5 m/s. På lovartsidan av husen i östra Gårdsten avtog vindhastigheten på samma sätt som i västra delen. Passagen i den lägre husraden gav en markant vindökning till drygt 4,5 m/s. Mellan de båda husraderna var vindhastigheten minst lika hög som på de öppna ytorna. Passagen i den höga husraden hade lägre vindhastighet, vilket kan förefalla märkligt. Men passagen är överbyggd och delvis skyddad av murar, vilket gav de låga hastigheterna. På läsidan var vindhastigheten ungefär lika hög som på lovart-

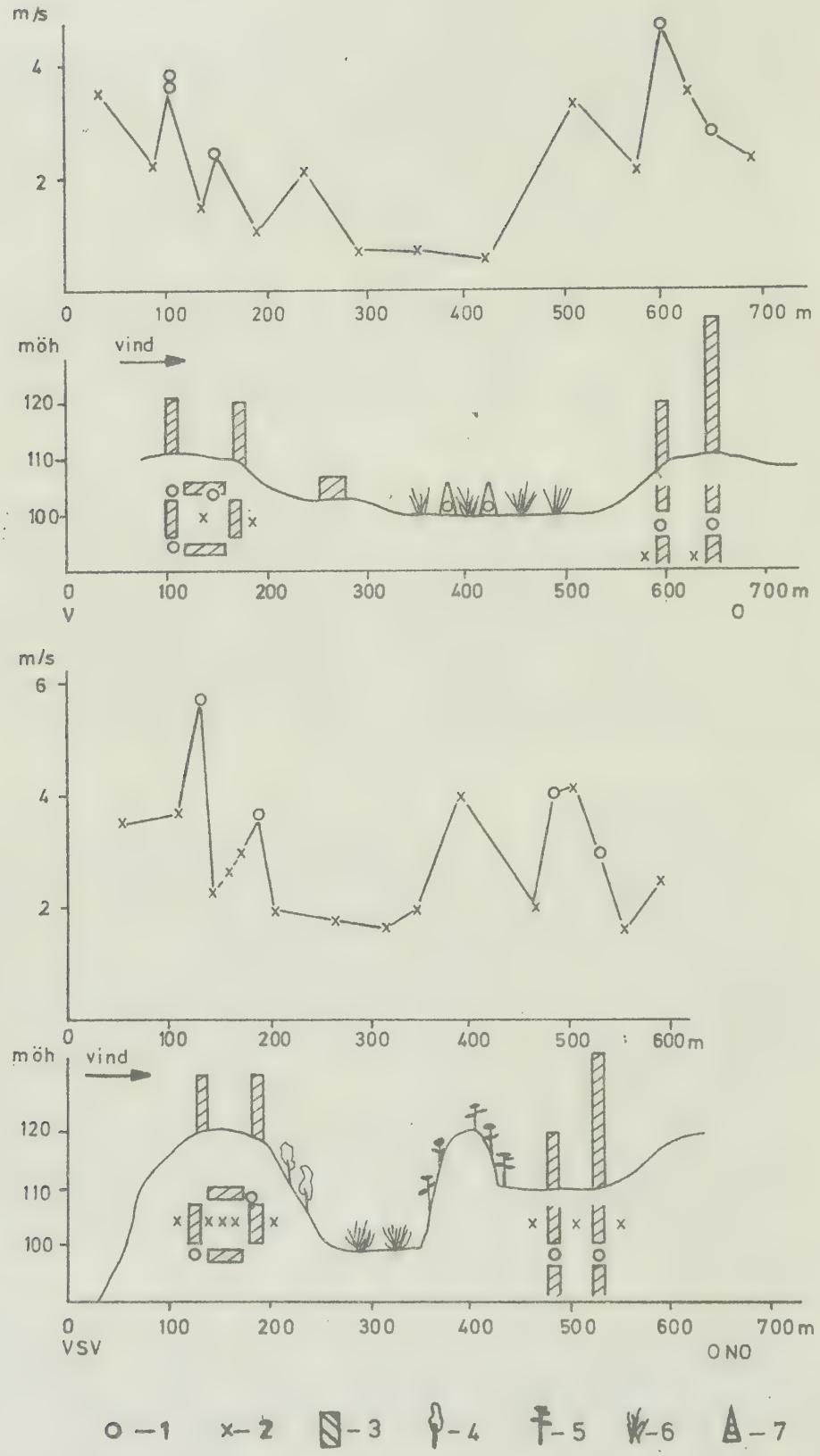


Fig 9.5 Vindens medelhastighet längs två profiler i Gårdsten. 1/ trånga passager 2/ övriga mätpunkter 3/ hus 4/lövträd 5/ barrträd 6/ buskar 7/ lekplats

Average wind speed along two profiles through a built-up area. 1/ narrow passages 2/ other measuring points 3/ buildings 4/ deciduous trees 5/ coniferous trees 6/ bushes 7/ play-ground

sidan.

Södra profilen

Den södra profilen har stora likheter med den norra, men det finns också avvikelser. På den öppna ytan var vindhastigheten liksom tidigare drygt 3,5 m/s. Lovartsidan av husen i västra Gårdsten hade nu något högre vindhastighet, vilket kan ha berott på mer exponerat läge eller att mätpunkten legat närmare huset och således längre in i lovartvirveln. Passagen i sydvästra hörnet av gården gav en avsevärd vindökning. På gården var vindhastigheten lägre än på lovartsidan på samma sätt som i norra profilen. Den östra delen av gården hade högre vindhastighet än den västra. Passagen i gårdens nordöstra hörn medförde en vindökning då luften strömmade ut där. Läsidan hade svag vind.

I dalgången var vindhastigheten inte lika låg som i den norra profilen trots att mätpunkten låg inramad av samma typ av vallar med pilbuskage. Nedböjning av höjdvindar mot den branta bergsidan i öster kan kanske förklara de skilda hastighetsnivåerna. Bergkrönet med gles tallskog hade en vindhastighet som motsvarade de öppna ytorna.

På lovartsidan av husen i östra Gårdsten, men i lä av berget, blev vindhastigheten låg. Passagen i den låga husraden gav inte lika hög vindhastighet som i den norra profilen, vilket troligen berodde på läverkan av berget. Mellan husraderna var dock vindhastigheten lika hög som i norra profilen, vilket även var fallet för passagen i den höga husraden och på läsidan. Detta torde ha orsakats av att den höga husraden sticker upp ovanför bergets krön och därför inte i märkbar grad påverkas av läeffekten från berget.

Diskussion

I de båda profilerna redovisas de vindhastigheter som mätts upp i just dessa punkter. Som delvis framgår av vindrosorna (fig 6.2 och 6.3) mättes många fler punkter i Gårdsten. Av dessa mätningar framgår att de båda profilerna kan anses vara representativa för Gårdsten vid detta mättillfälle.

Räknat på medelvärden reduceras vinden på gårdarna i västra Gårdsten med 40-45% jämfört med öppna ytor. Mellan husraderna i östra Gårdsten är vindreduktionen 0-5%. Dessa tal kan jämföras med vad Wise (1971, fig 4) erhållit i vindtunnelförsök. Mellan lika höga hus erhöll han en vindreduktion på 50%. Mellan två hus där det högre var tre gånger högre än det lägre och med avståndet 1,2 x det höga husets höjd, blev det en vindökning med ca 50%.

Vindreduktionen mellan de likstora byggnaderna är betydligt mindre än den som observerats i bebyggelselandskapet (fig 9.1.b). I detta fall är det dock fråga om enstaka byggnader och inte om

ett landskap, där vinden inte endast påverkas av bebyggelsen utan också av topografi och vegetation. I motsvarande bebyggelsetyp (1F) i bebyggelselandskapet blir vindreduktionen 55-60%. Som en överslagsberäkning skulle man då kunna erhålla att av den totala vindreduktionen i denna bebyggelsetyp i Göteborgs bebyggelselandskap kommer 40-45%-enheter direkt från bebyggelsen och ytterligare ca 15%-enheter från reduktion av vinden ovan hustaken. Den tidigare påtalade osäkerheten vid bestämningen av vindreduktionen i bebyggelselandskapet måste emellertid betonas, men också att Gårdstensmätningarna är utförda på ett enhetligt sätt och med en mätare med bättre precision.

Faktorer som modifierar vindhastigheten inom bebyggelsen

Inom vindfältet har det antagits att hastighet och byighet bestämts av bebyggelsetyp, hushöjd, vegetationsförhållanden, topografiskt läge, höjdläge och avstånd från havet. För att åtminstone delvis analysera dessa faktorer har mätpunkterna delats upp i grupper.

Bebyggelsetyper (eller rättare sagt markanvändningstyper):

Öppna ytor (Ö), open areas
Park (P), park
Sluten bebyggelse (S), closed building block
Fritt grupperad bebyggelse (F), free spaced buildings
Villabebyggelse (V), detached houses

Hushöjd:

Låg bebyggelse: 1-3 vån (l), low buildings
Medelhög bebyggelse: 4-5 vån (m), medium height buildings
Hög bebyggelse: 6- vån (h), high buildings

Landshövdingebebyggelsen har urskiljts som en egen hushöjd (lh) trots att den egentligen är en form av låg bebyggelse.

I en del fall har fyravåningshus med bottenvåning i markplanet [illegible] till nästa till den låga bebyggelsen.

Höjdläge:

Lågt belägen: 0-40 möh (L), low altitude above sea level
Högt belägen: 45-90 möh (H), high altitude above sea level

Totalt har 15 undergrupper urskilts: ÖL, ÖH, PL, lSL, mSL, lhSL, lhSH, lFL, lFH, mFL, mFH, hFL, hFH, VL och VH.

Regressionslinjer har beräknats för sambandet mellan basvinden vid Torslanda och var och en av undergrupperna. Antalet observationer i var och en av undergrupperna framgår av tabell 10.1.

I fall då p.95 genom mätningarna visats vara mindre än 2 m/s har p.95 åsatts värdet 1,5 m/s och då u underskridit 1,3 m/s har dessa mätningar erhållit värdet 1 m/s.

Avstånd från kusten

I bearbetningen av de första mätomgångarna (Holmer 1971, s 62) tycktes det vara möjligt att spåra ett vindavtagande inåt land med 0,1 ms^{-1}/km. Även med ett större material kan en sådan trend utläsas. Men ett närmare studium visar att för likvärdiga mätpunkter (t ex villaområden) något sådant avtagande inte kan urskiljas. Trenden beror således på att bland mina mätpunkter ökar andelen villor österut, vilket även förmodades i den tidigare undersökningen. En viss reservation bör emellertid göras med tanke på det ringa antalet västliga basvindar.

Höjdläge

Genomsnittligt får de högt belägna mätpunkterna högre vindhastighet. Hastighetsskillnaden ökar med ökande basvindhastighet (fig 9.6). Vid en torslandahastighet av 9 m/s har de högt belägna bebyggelsetyperna en medelhastighet som är ca 0,5 m/s högre än de lågt belägna. För vindstötar (p.95) är skillnaden större, ca 0,8 m/s. Ett undantag finns och det gäller villabebyggelse. De högt belägna mätpunkterna är emellertid få (3 st) och har jämförelsevis skyddat läge. Detta bör förklara det avvikande höjdsambandet.

Vid låga basvindhastigheter är den av höjdläget orsakade skillnaden mindre eller t o m den omvända, vilket är svårförklarligt. Detaljer i topografiskt läge, bebyggelsens gruppering eller vegetationen kan kanske få relativt större påverkan vid de låga basvindhastigheterna och därför överflygla effekten av höjdläget.

Topografiskt läge

Genomsnittligt innebär högt höjdläge också att en mätpunkt erhåller ett utsatt topografiskt läge och därmed också hög vindhastighet. Detta gäller emellertid inte alltid. Det topografiska läget kan medföra betydande avvikelser i vindhastigheten. Ett exempel på detta är det bristande höjdsambandet för villabebyggelsen i föregående avsnitt. Ett annat exempel är stormskadefördelningen i Guldheden efter septemberstormen 1969 (fig 3.2). Bebyggelsen i svackan befinner sig visserligen på 90 möh, men i ett skyddat läge och är därför obetydligt skadad i jämförelse med omgivande hus i krönläge.

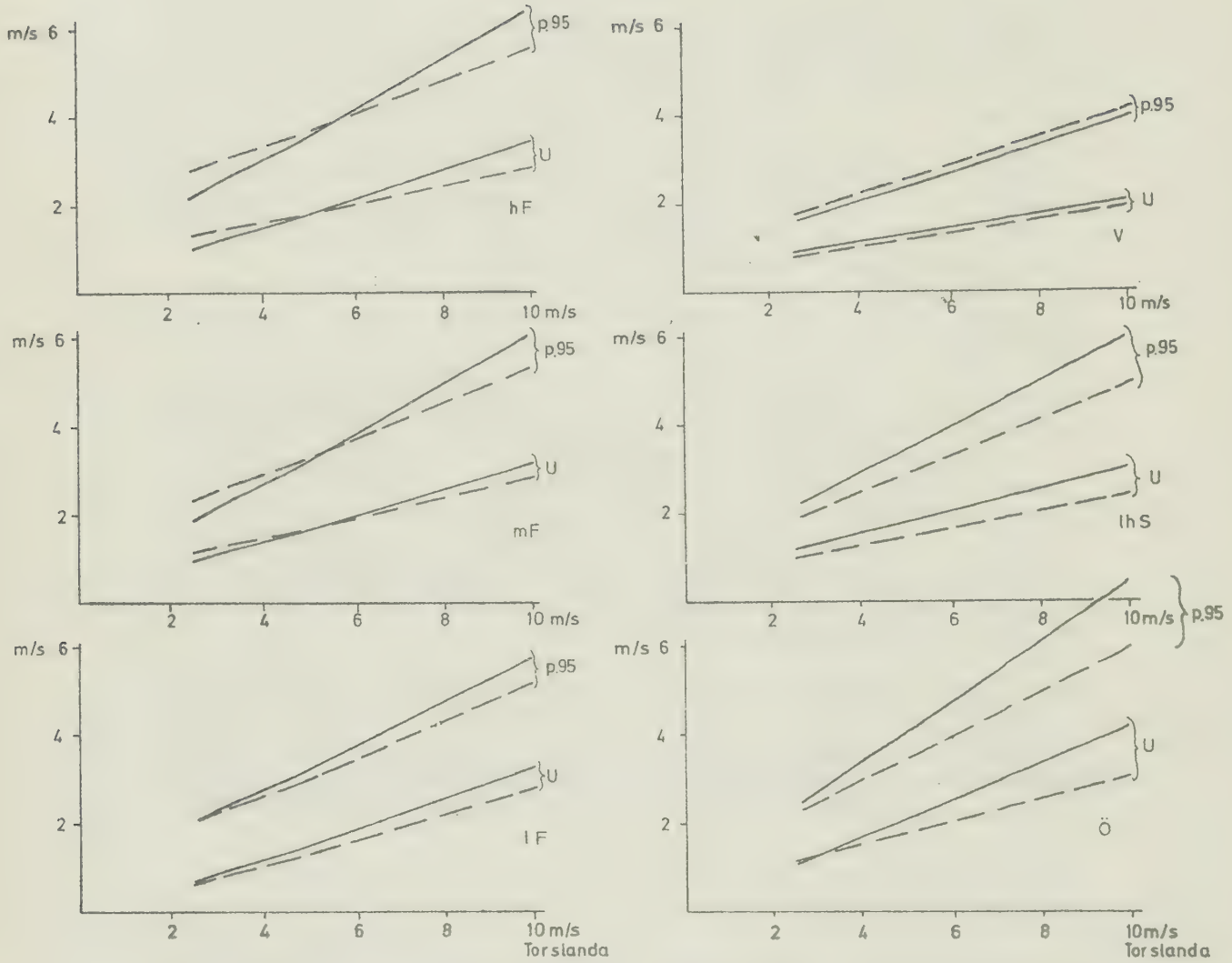


Fig 9.6 Höjdlägets inverkan på vindhastigheten. Heldragen linje - högt belägna mätpunkter (45-90 möh), streckad linje - lågt belägna mätpunkter (0-40 möh).

Effect of height above sea level on the wind speed. Solid line - measuring points in high positions (45-90 masl), dashed line - measuring points in low positions (0-40 masl).

Hushöjd

Ökad hushöjd innebär ökad vindhastighet (fig 9.7). Det gäller såväl medelhastighet som vindstötar. Effekten av hushöjden i förhållande till basvinden är något växlande. För vissa bebyggelsegrupper är differensen störst vid låga basvindhastigheter och för andra vid högre. Den genomsnittliga skillnaden mellan låg och hög bebyggelse varierar med bebyggelsetyp och kan bli upp till 1,5 m/s.

Orsaken till hushöjdsinflytandet är att finna i nedböjningen av höjdvindar från högre liggande delar av vindprofilen. Ju högre hus, desto större kan effekten bli.

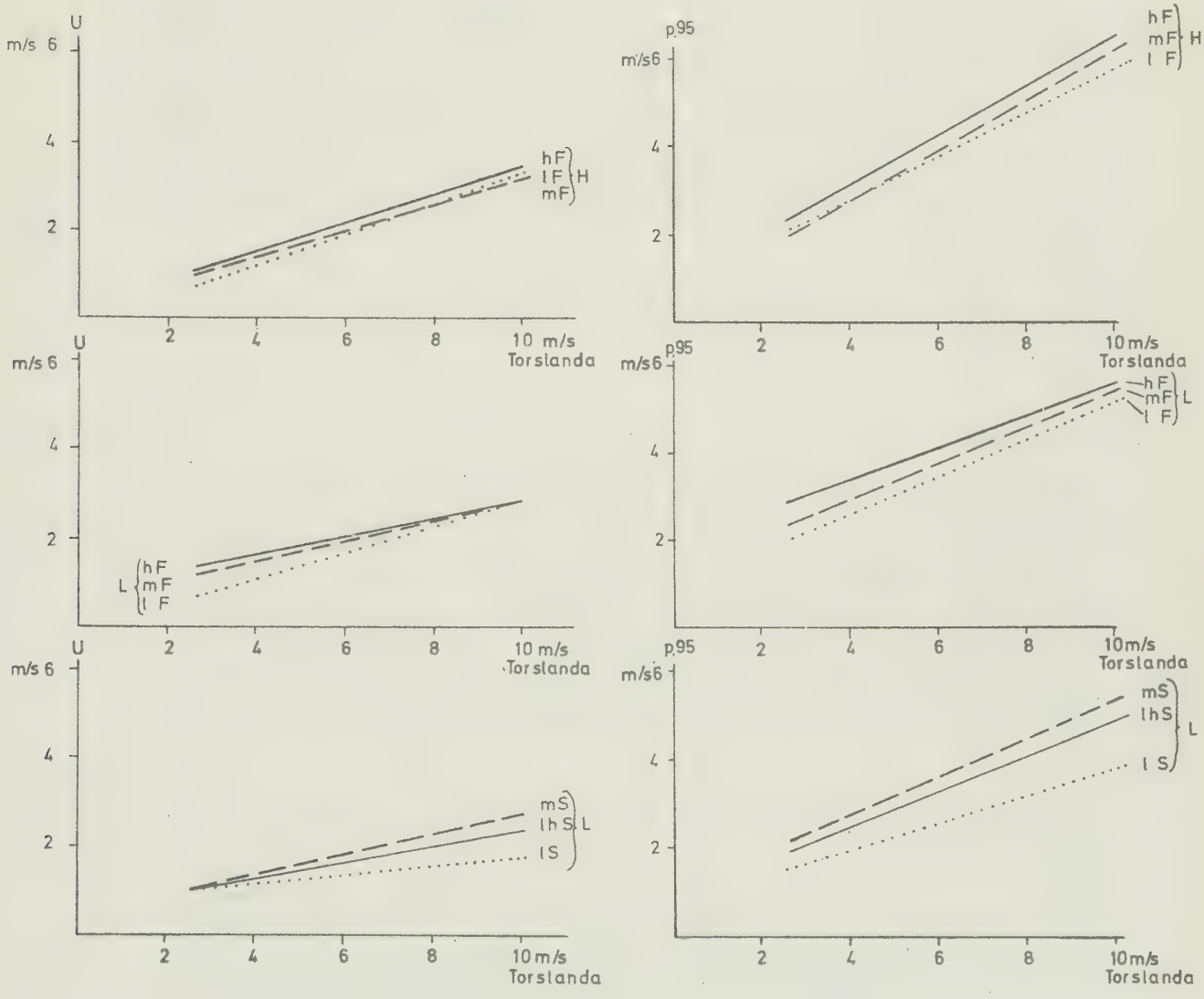


Fig 9.7 Hushöjdens inverkan på vindhastigheten

Effect of house height on the wind speed

Bebyggelsetyp

Fig 9.8 visar en jämförelse mellan de olika bebyggelsetyperna i lågt belägna områden. För högre basvindhastigheter har de öppnare belägna mätpunkterna (Ö) högst hastighet. Fritt grupperade byggnader (F) ger högre hastigheter än sluten bebyggelse (S). Villabebyggelse (V) har lägre hastighet än den låga slutna bebyggelsen (lS). Lägst hastighet har inte oväntat parkområde (P). Rangordningen är densamma för såväl medelhastighet som vindstötar.

Vid de låga basvindhastigheterna blir det något omkastad rangordning. För medelhastigheterna är värdena ganska osäkra. Vindstötsvärdena torde ge säkrare resultat. De högsta värdena har hög resp. medelhög fritt grupperad bebyggelse (hF resp. mF), medan de öppnare mätpunkterna (Ö) kommer först på tredje plats i stället för första plats vid de högre basvindhastigheterna.

Vid de högre basvindhastigheterna är det framför allt tillgången på fritt utrymme som reglerar vindhastigheten. Den fritt grupperade bebyggelsen ger vid motsvarande hushöjd mer utrymme för vinden än den slutna bebyggelsen gör. Även inom den slutna bebyggelsen kan man göra motsvarande iakttagelse. Landshövdinge-bebyggelsen är, åtminstone där mina mätpunkter ligger, en glesare bebyggelsetyp än den lika höga, slutna bebyggelsen (lS). Inom en viss typ av bebyggelsegruppering medför dessutom ökande hushöjd förhöjd vindhastighet.

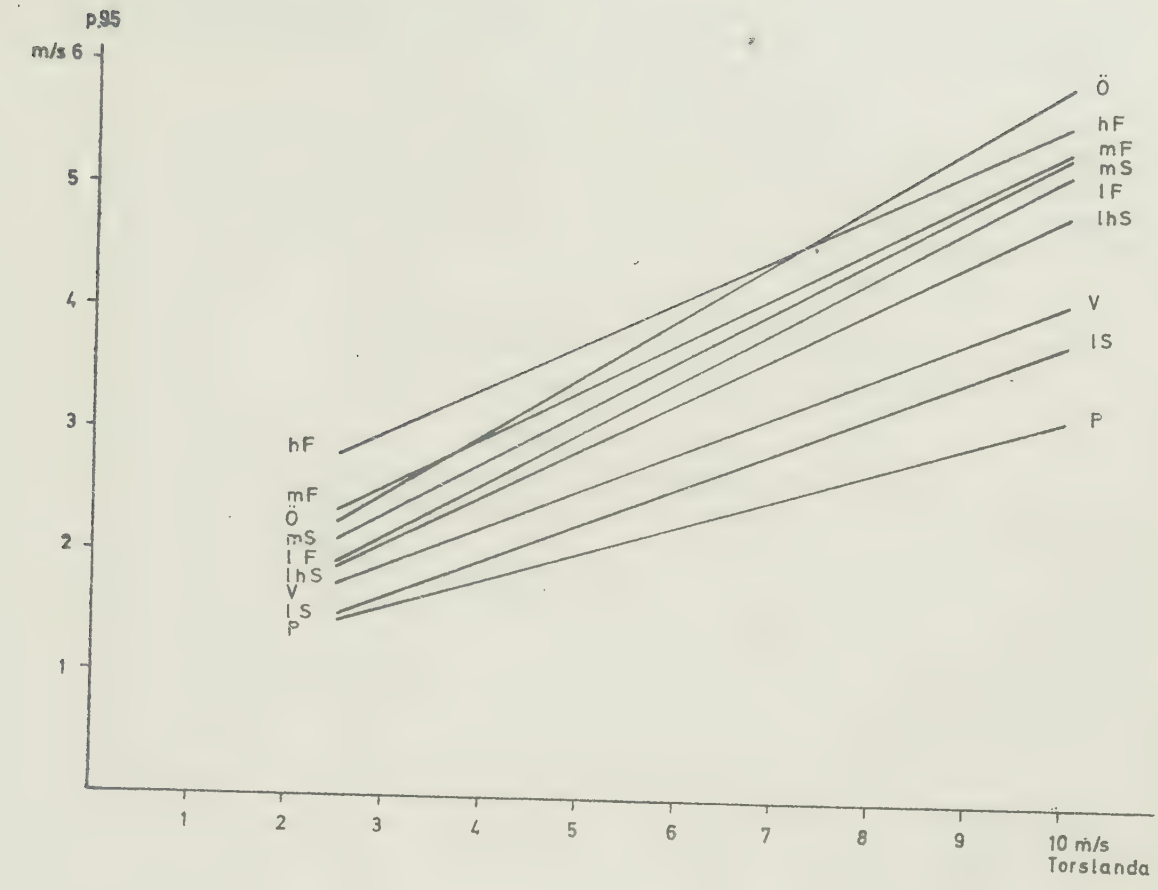
Vid de låga basvindhastigheterna kommer hushöjden in som den relativt sett mest betydande faktorn genom sin förmåga att föra ned höjdvindar.

Vegetation

Vegetationens dämpande effekt på vindhastigheten framgår klart av att villabebyggelse och parkområde har de lägsta vindhastigheterna. Bortsett från vegetationen hör ju dessa båda områdestyper till de öppnare. Villabebyggelse är vad avser hustäthet klart glesare än landshövdinge-bebyggelse, låg, sluten bebyggelse och låg, fritt grupperad bebyggelse, vilket borde gynna en högre vindhastighet i villabebyggelsen. Trots detta är vindhastigheten i verkligheten lägre. Denna låga vindhastighet i villabebyggelsen måste därför tillskrivas vegetationen.

Spridningen kring regressionslinjerna

Det tycks i första hand vara den genomsnittliga vindhastigheten i en bebyggelsetyp som reglerar spridningen kring regressionslinjerna. Ju högre hastighet desto större möjligheter till avvikelser från linjen. Sambandet mellan medelhastigheten inom en bebyggelsetyp och restvariansen har mycket hög korrelationskoefficient - 0,95 för medelhastighet och 0,97 för vindstötar.



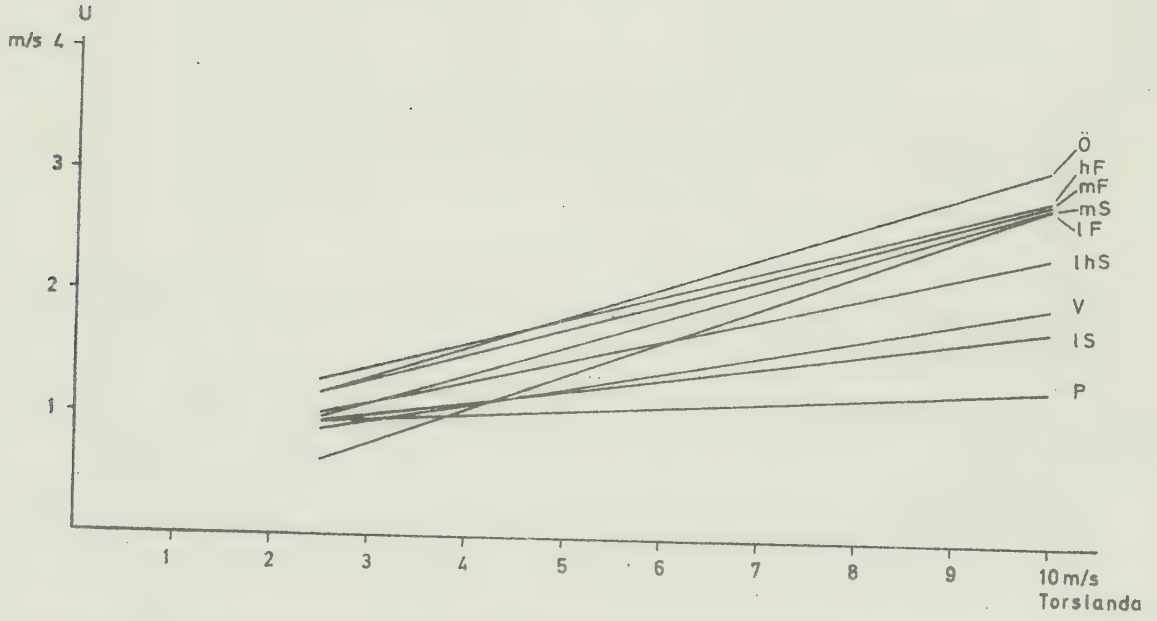


Fig 9.8 Bebyggelsetypens inverkan på vindhastigheten
a/ vindstötar (p.95) b/ medelhastighet

Effect of building-type on the wind speed
a/ gusts (p.95) b/ average wind speed

I det sistnämnda fallet ingår ej de öppnare ytorna i beräkningen, eftersom de har påtagligt lägre restvarians än övriga grupper.

Tabell 9.1 ger restvariansen för medelvärde och vindstötar. Det kan synas egendomligt att vid motsvarande hastighet har p.95 mindre varians än u. Men dessa situationer motsvarar inte varandra, eftersom p.95 har en hastighetsnivå som ligger över u. Vid en bestämd basvind har p.95 i stället högre varians än u.

Tabell 9.1 Restvariansen för regressionslinjerna

Residual variance of the regression lines

Variabel	Medelhastighet inom bebyggelsetypen (m/s) Average wind speed in the built-up area					
	1,5	5	2,5	3	4	5
u	0,32	0,81	1,30	1,79	-	-
p.95 bebyggda områden built-up areas	-	0,05	0,60	1,14	2,24	3,33
p.95 öppna områden open areas	-	-	-	-	1,50	2,80

Görs i stället en uppdelning efter bebyggelsetyp erhålles tabell 9.2, som förutom restvariansen ger konfidensintervall kring medelvärdespunkterna. Som tidigare nämnts ökar dessa konfidensintervall på statistiska grunder, när man avlägsnar sig från medelvärdet.

Stora avvikelser från regressionslinjerna

Ibland förekommer mycket stora avvikelser från det normala för en mätpunkt. Det gäller i första hand i förhållande till basvinden extremt höga vindhastigheter, men det kan även avse markant låga hastigheter. I det sistnämnda fallet kan ett flertal felmöjligheter tänkas orsaka alltför låg hastighet, medan det i fråga om avvikande höga vindhastigheter troligen är fråga om verkliga avvikelser.

Vad som orsakar de starkt avvikande höga vindhastigheterna är oklart. Tänkbart är att det är fråga om vindskärpning som uppkommit på grund av en för detta ändamål gynnsam topografi. Detta ligger nära till hands i exemplet fig 9.9.d. Vindökning orsakad av krönläge och vind rakt mot den branta bergssidan förefaller här vara en rimlig förklaring. Bebyggelsegrupperingen kan också

Tabell 9.2 Restvarians och konfidensintervall för bebyggelsetyper

Residual variance and confidence limits of the different building types

Typ	p.95 var	p.95 konf	u var	u konf
lF,H	1,99	± 2,82	0,56	± 1,50
mF,H	2,28	± 3,02	0,89	± 1,88
hF,H	2,95	± 3,44	1,23	± 2,22
lF,L	1,63	± 2,56	0,20	± 0,90
mF,L	2,09	± 2,90	0,93	± 1,92
hF,L	2,27	± 3,02	0,82	± 1,82
lhS,L	1,09	± 2,08	0,35	± 1,18
lhS,H	1,35	± 2,32	0,69	± 1,66
lS,L	0,84	± 1,84	0,16	± 0,80
mS,L	1,93	± 2,78	0,75	± 1,72
V,H	1,07	± 2,06	0,22	± 0,94
V,L	0,99	± 1,98	0,23	± 0,96
Ö,H	2,69	± 3,28	1,47	± 2,42
Ö,L	1,62	± 2,54	0,67	± 1,64
P,L	0,41	± 1,28	0,07	± 0,52

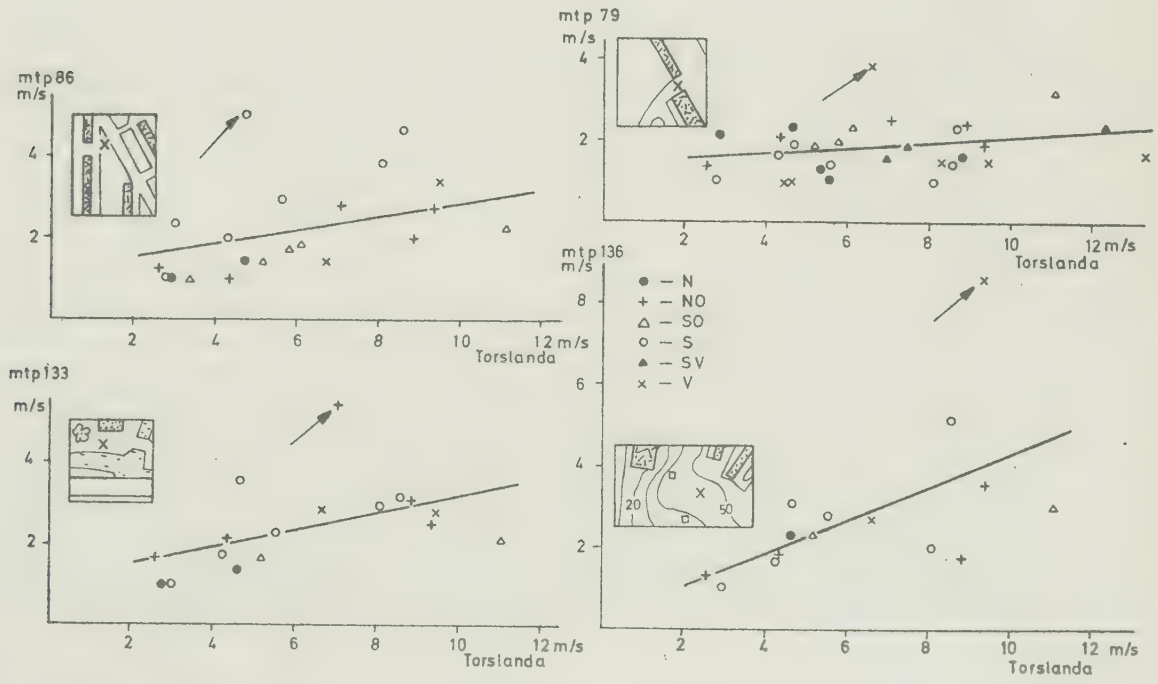


Fig 9.9 Vid flertalet mätpunkter uppträder enstaka starkt avvikande mätresultat (markerade med pil)

At most measuring points single strongly deviating wind speeds occur

tänkas ha vissa lägen som är optimala för vindskärpningar. I fig 9.9.a kan man som trolig förklaring anföra strömning längs ett antal parallella byggnader och i fig 9.9.b anblåsning rakt mot passagen mellan två åttavånings lamellhus.

Men det förekommer också tillfällen då någon vindökning inte förekommit, trots att förutsättningarna verkat vara lika de fall, då vindskärpning uppstått. I vissa fall av tillfälligt hög relativ vindhastighet finns det inte heller vare sig topografi eller bebyggelse som kan tänkas förklara den extrema vindhastigheten. Ett exempel på detta är fig 9.9.c, där mätpunkten är en lågt belägen öppen plats. Det innebär att åtminstone en del av de tillfälligt förekommande höga relativa vindhastigheterna bör kunna förklaras av slumpvis förekommande 'paket' med högre hastighet i basvindstrukturen.

Den enstaka förekomsten verkar emellertid vara ett karakteristiskt drag i vindmönstret. Detta medför komplikationer vid tolkningen av enskilda mätomgångar. Två av de extrema värden som ingår i fig 9.9 (mtp 79 och 86) har tidigare varit föremål för just sådan tolkning (Holmer 1971, s 57). De tendenser som då beskrevs är kanske riktiga. Däremot har de fått en för kraftig betoning i och med att hastighetsnivån varit så hög.

10 RELATIV VINDHASTIGHET

För att lättare kunna jämföra olika mätomgångar kan man uttrycka vindhastigheten med relativtal, t ex som kvoten mellan vindhastigheten i en mätpunkt och vid en referensstation (Frederick 1961, s 39) eller som vindreduktionen i en mätpunkt i förhållande till vindhastigheten vid referensstationen (fig 9.1). I vindtunnelförsök kan beräkningarna göras med utgångspunkt från vinden i mätpunkten med och utan modell (Wise 1971, s 473 och Jensen & Franck 1963, s 54). Dessa tal är emellertid beroende av hastighetsnivån (fig 9.1), vilket medför svårigheter vid jämförelser mellan mätomgångar uppmätta vid olika basvindhastighet. Problem kan också uppstå om referensstationen hamnar i läposition vid vissa vindriktningar.

Ett sätt att undvika inflytandet av basvindhastigheten är att som jämförelsetal använda den genomsnittliga vindhastigheten inom bebyggelsen. Jones & Wilson (1968, s 38) beräknade med utgångspunkt från detta för varje mätpunkt och vindriktningssektor om 30° 'relative exposure', vilket är arimetiska medelvärdet av dessa relativtal.

Med relativ vindhastighet menas i denna undersökning förhållandet mellan den enskilda mätpunktens hastighet och medianhastigheten för hela mätomgången. Beräkningarna är utförda på p.50-hastigheterna.

Relativ vindhastighet i olika bebyggelsetyp

I fig 10.1 har bebyggelsetyperna rangordnats efter den relativa hastighet som underskrids av hälften av observationerna för resp. bebyggelsetyp. De bebyggelsetyper som med hälften av mättillfällena ligger under genomsnittsnivån för hela vindfältet är de vegetationsrika, lågt belägna områdena med låga hus. Parkområdena har den lägsta genomsnittliga relativa hastigheten med 0,83. Öppna ytor och hög bebyggelse ger relativa hastigheter över genomsnittet. Öppna, högt belägna områden har de genomsnittligt högsta relativa hastigheterna med 1,38.

I stort sett ökar möjligheten, att det skall förekomma tillfällen med avsevärt högre relativ hastighet med ökande genomsnittlig hastighetsnivå. Det mest markanta undantaget från detta är de öppna, lågt belägna områdena. I parkområden når inte vinden vid de blåsigaste tillfällena (bortsett från de allra högsta värdena) upp till mer än genomsnittsnivå för hela vindfältet. De öppna, högt belägna områdena däremot kan tillfälligtvis få relativa hastigheter som är mer än tre gånger vindfältets genomsnittsnivå. Observera att dessa avvikande relativa vindhastigheter inte gäller vindstötar utan att medelhastigheten vid dessa mättillfällen av någon anledning kommit att få en starkt avvikande nivå.

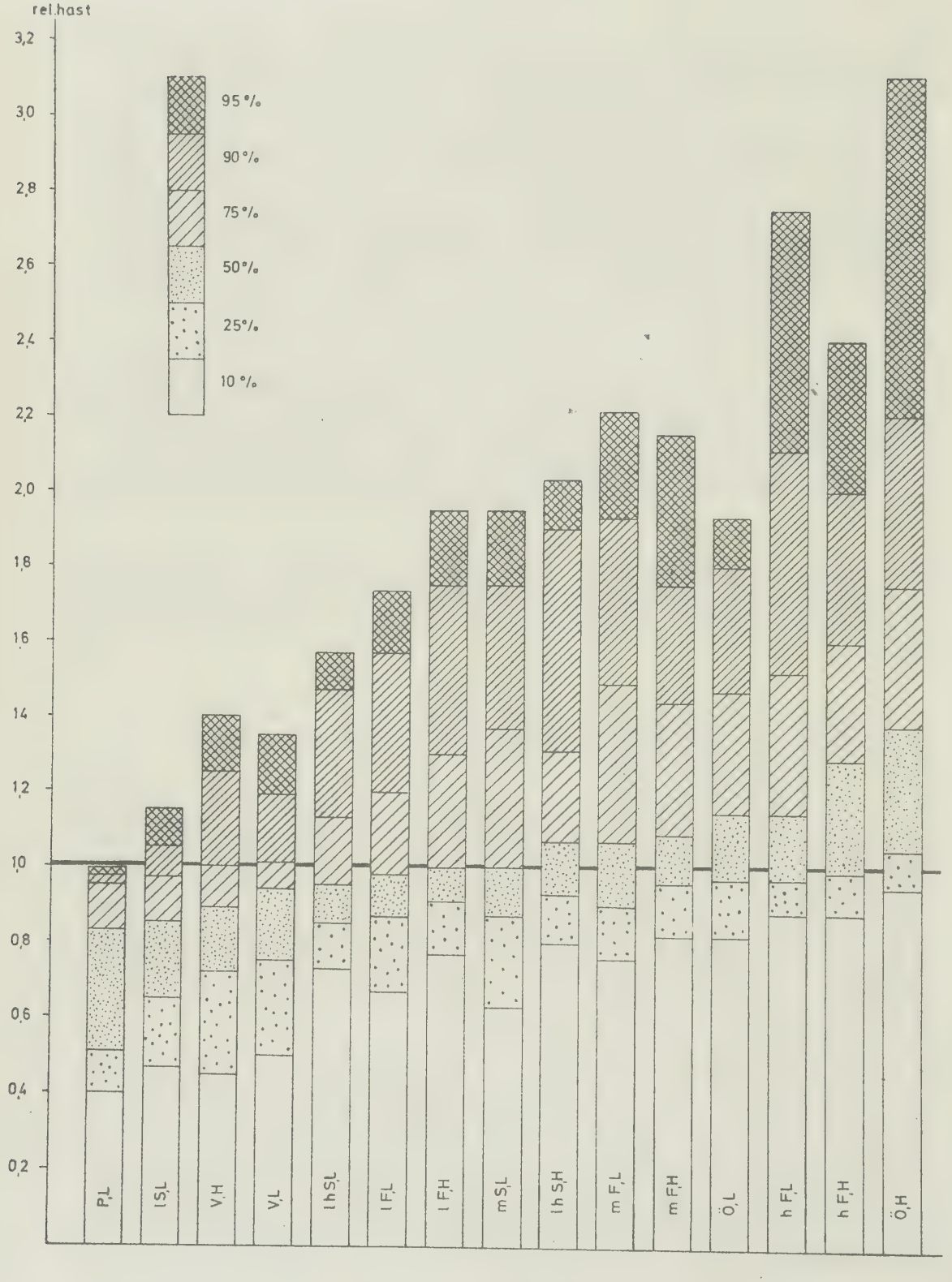


Fig 10.1 Fördelning av relativ vindhastighet inom olika bebyggelsetyper

Distribution of relative wind speed in different types of built-up area. 1.0 is the median-value of the measuring points.

Frekvensen av höga relativa vindhastigheter

Inom nästan alla bebyggelsetyper förekommer relativa vindhastigheter, som är större än 2,00, d v s mer än dubbla genomsnittsnivån. Medelfrekvensen för samtliga mätpunkter är 4,1%. Högst frekvens (tabell 10.1) finner man naturligt nog i de bebyggelsetyper som genomsnittligt har högst relativ hastighet - högt belägna, öppna platser (Ö,H) högt belägen, fritt grupperad hög bebyggelse (hF,H) och lågt belägen, fritt grupperad låg bebyggelse (hF,L). De högt belägna mätpunkterna har högre frekvens än de lågt belägna. Genomsnittligt skiljer det ca 3%-enheter i frekvens beräknat på de bebyggelsetyper som är representerade i båda höjdlägena.

Tabell 10.1 Frekvensen av relativa hastigheter större än 2,00

Frequency of relative wind speed greater than 2,00

Bebyggelsetyp Type of built-up area	Totalt antal observationer Total number of observations	Antal observationer större än 2,00 Number of observations greater than 2,00	Frekvens i % större än 2,00 Frequency in % greater than 2,00
Ö,H	146	21	14,4
Ö,L	268	15	5,6
hF,H	158	16	10,1
hF,L	159	14	8,8
mF,H	103	7	6,8
mF,L	100	6	6,0
lF,H	342	15	4,4
lF,L	376	9	2,4
lhS,H	33	2	6,1
lhS,L	122	1	0,8
mS,L	156	4	2,6
lS,L	66	-	-
V,H	62	-	-
V,L	585	2	0,3
P,L	33	-	-
Totalt Total	2709	112	4,1

Vindhastighetens beroende av vindriktning, bebyggelsens utformning och topografiskt läge

I många fall är det svårt att urskilja något samband mellan vindhastighet och vindriktning i en mätpunkt. Ibland kan det dock finnas påtagligt högre eller lägre relativ vindhastighet från vissa vindriktningar. Detta kan bero på bebyggelsens utformning eller topografin eller på en kombination av båda. Nedan beskrivs förhållandena vid några enskilda mätpunkter.

Den blåsigaste av alla mätpunkter är mtp 16 vid Masthuggskyrkan (Ö,H, fig 10.2.a). Medianvärdet av relativa hastigheten är 2,04, men tillfällen med tre gånger vindfältets medelnivå tycks kunna förekomma vid alla basvindriktningar.

Villaområden tillhör de vindsvagaste bebyggelsetyperna. Mtp 233 på Norska gatan (V,L, fig 10.2.b) kan anses vara en typisk exponent för villabebyggelsen. Relativa vindhastigheten är ungefär lika hög vid alla basvindriktningar, vilket torde bero på den ringa längdutsträckningen av husen.

Ett exempel där husens utformning och basvindriktningen har stor inverkan på vindhastigheten är mtp 35 vid Guldhedstorget (hF,H, fig 10.2.c). Mätpunkten ligger mellan ett niovånings punkthus och en långsträckt tvåvåningsbyggnad. När det blåser från S tycks det låga huset styra in och på så sätt förstärka vinden kring höghuset. Även vind från NO får hög hastighet intill höghuset men lägre än vid sydvindar, vilket kan bero på frånvaron av en styrande huskropp. När det blåser från SO kommer mätpunkten att befinna sig i lä bakom höghuset.

Den vindsvagaste av alla mätpunkterna är mtp 54 på Erik Dahlbergsgatan (lS,L, fig 10.2.d). Medianvärdet av relativa hastigheter är 0,69. Hastigheten når sällan upp till vindfältets medelnivå. Någon tydligt märkbar effekt av basvindriktning kan inte observeras.

Mätpunkt 55 på Vasagatan (lS,L, fig 10.2.e) ligger nära hörnet av Vasaparken. Vid basvindriktningar från den sydvästra kvadranten strömmar luften över denna öppna yta och pressas sedan in mellan husen på Vasagatan. Den relativa hastigheten kommer därför att vid basvind från dessa riktningar ligga tydligt över vindfältets medelnivå medan den för övriga basvindriktningar ligger något under.

Mtp 56 på Storgatan ligger i den slutna bebyggelsen i stadens centrum (mS,L, fig 10.2.f). Mot öster finns en stor öppen yta (Heden). Vid basvindriktningar från N-SO kommer vinden att pressas in på gatan och ge en kraftig förstärkning av vindhastigheten jämfört med andra basvindriktningar. Vindökningen beror i detta och närmast föregående fall inte så mycket på bebyggelsens utformning just vid mätpunkten utan på att omgivningen inte är likartad i olika riktningar. Eftersom de öppna ytorna är vända åt motsatt håll är det också helt klart att de förhöjda relativa hastigheter-

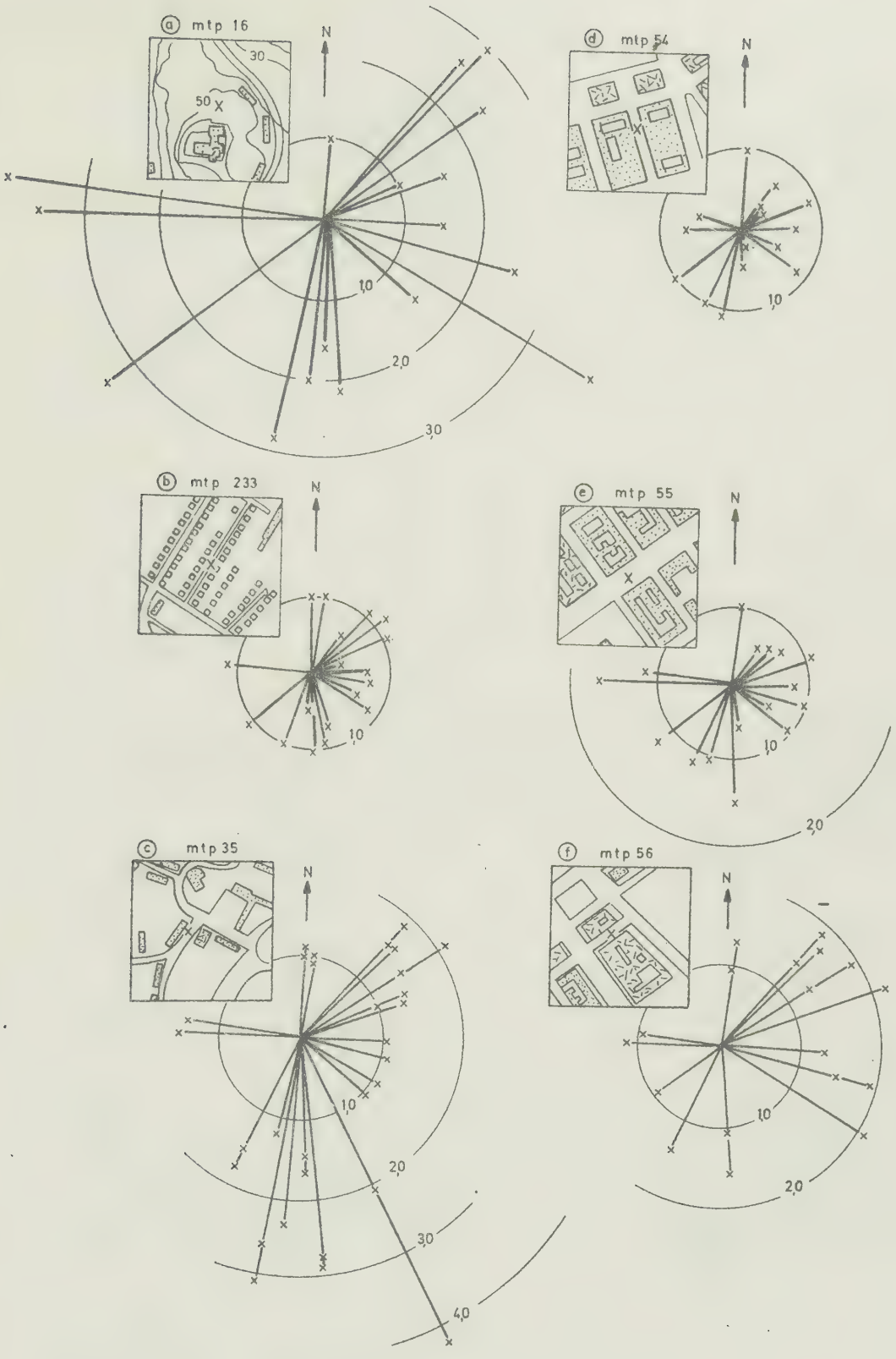


Fig 10.2 Relativa vindhastigheter vid några mätpunkter
Relative wind speeds at some measuring-points

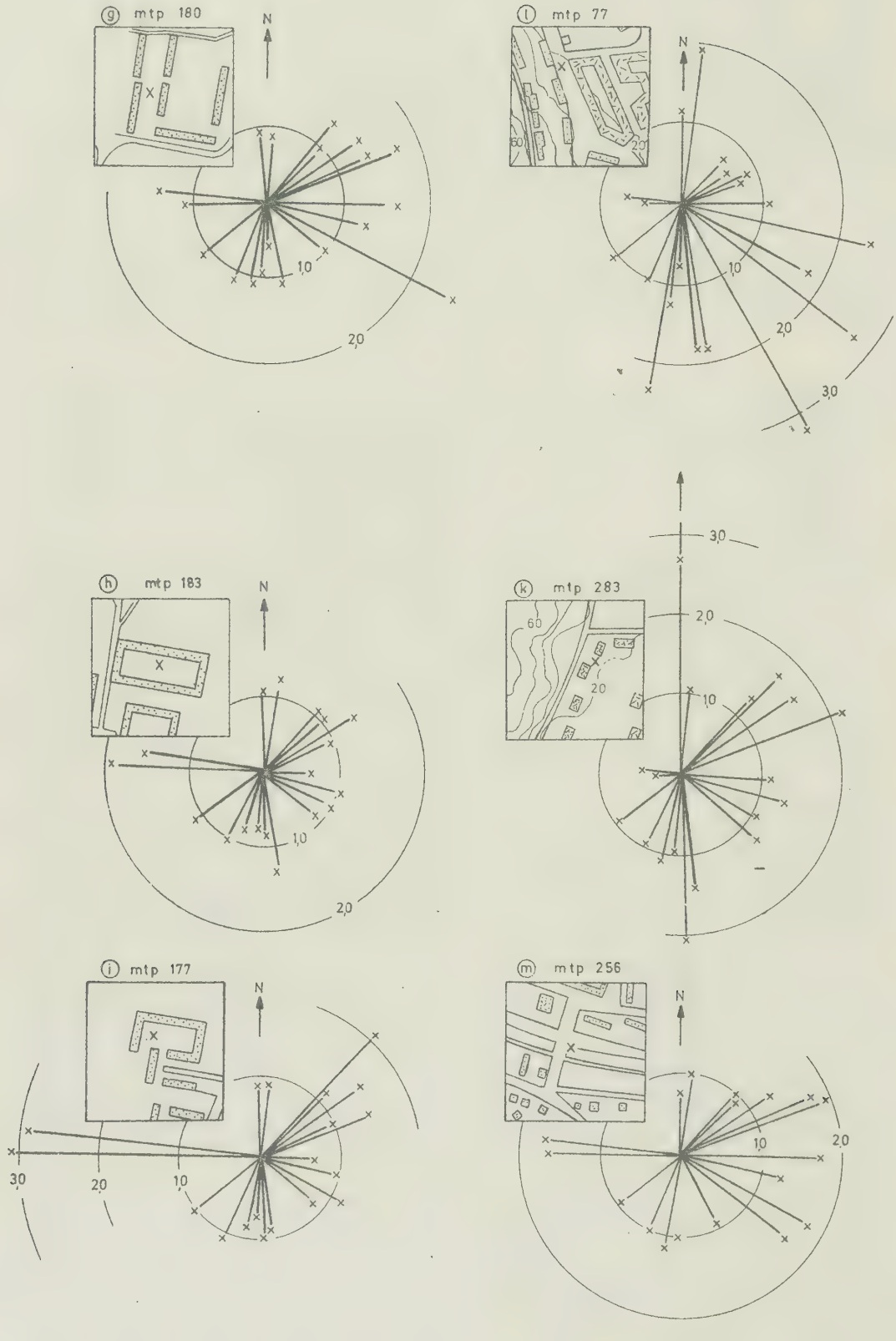


Fig 10.2 (forts.) Relativa vindhastigheter vid några mätpunkter
(cont.) Relative wind speeds at some measuring-points

na inte beror på speciell egenhet hos vinden vid en viss basvindriktning.

Mellan två parallella husrader på Rimfrostgatan i Länsmansgården ligger mtp 180 (1F,H, fig 10.2.g). De högsta vindhastigheterna har observerats när basvinden blåser mer eller mindre tvärs emot husen från ostliga riktningar. Det ringa antalet observationer med basvind från V medför att det inte kan avgöras om den förhöjda vindhastigheten uppträder symmetriskt eller om något i omgivningen kan ge förstärkning av de ostliga basvindarna.

Mätpunkt 183 på Dimvädersgatan i Norra Biskopsgården ligger på en långsträckt gård (1F,H, fig 10.2.h). Vid de båda tillfällena med basvind från V har högsta hastigheterna observerats. För övrigt är det svårt att se några speciella differenser mellan olika basvindriktningar.

I Länsmangården finns också mätpunkt 177 på Barometergatan (1F,H, fig 10.2.i). Bebyggelsen bildar en gård öppen mot sydväst. Huskroppen söder om mätpunkten bildar tillsammans med en svacka mot sydväst en tratt, där V-vindar kan styras in och erhålla betydligt högre vindhastighet än vad som är normalt för mätpunkten. Även vind från NO får något högre vindhastighet, då vinden blåser ut genom öppningen.

Om en mätpunkt ligger intill en brant bergsida, som mätpunkt 283 på Poesigatan i Backa (hF,L, fig 10.2.k), kan den erhålla en avsevärd vinddämpning. Trots höghusen blir vindhastigheten obetydlig vid basvind från V (och i viss mån från SV) medan den för övriga vindriktningar ligger över genomsnittet, vilket är det normala för denna bebyggelsetyp.

Mätpunkt 77 på Eklandagatan på östra sidan av Johanneberg (mF,L, fig 10.2.l) får när det blåser från S-SO högre vindhastighet än annars. Orsaken till detta torde vara en samverkan av att vinden styrs in av den relativt branta dalsidan och av att bebyggelsen bildar en tratt, där vinden kan pressas in. I svagare utveckling tycks detsamma vara fallet för vindar från N.

I Björlandadalen på Hisingen ligger mätpunkt 256 på Nya Björlandavägen (Ö,L, fig 10.2.m). Den närmaste omgivningen saknar bebyggelse, men mot dalsidorna finns låg bebyggelse utsträckt i dalens riktning. Tillsammans medför topografin och bebyggelsen i omgivningen att vinden får högre hastighet i dalriktningen än då vinden blåser mer eller mindre tvärs mot dalens och bebyggelsens längdutsträckning.

Relativ vindhastighet intill och mellan långsträckta hus

För att få grepp om anblåsningsriktningens betydelse vid hus med tydlig längdutsträckning har mätpunkterna i den slutna kvartersbebyggelsen (1hS, 1S och mS) och mätpunkterna intill eller mellan långa hus (delar av 1F, mF och hF) undersökts.

För mätpunkterna i passagen mellan långsträckta hus och mellan parallella hus har fem anblåsningsriktningar urskilts från parallellt till tvärs mot husens längdutsträckning (fig 10.3.a och c) och för mätpunkter i den slutna bebyggelsen och intill långsträckta hus nio anblåsningsriktningar (fig 10.3.b och d). Det större antalet anblåsningsriktningar i de senare fallen beror på att man för vindriktningar mot husen kan skilja på om mätpunkten är förskjuten mot ena sidan av gatan eller om den befinner sig på lä- eller lovartsidan om byggnaden. Varje anblåsningsriktning omfattar en sektor på 1/16 varv. Vindriktningen mot byggnaderna har tagits efter de basvindriktningar jag bestämt ur Torslandas vinduppgifter. Någon hänsyn till de troligen förekommande lokala avvikelserna har inte kunnat tas. Effekten av olika anblåsningsriktningar mot husen är räknad som medianvärdet av relativa vindhastigheten för resp. anblåsningsriktning (fig 10.3.e).

Sluten bebyggelse

I den slutna kvartersbebyggelsen har det relativt liten betydelse från vilket håll vinden blåser an. Större delen av variationsbredden för olika anblåsningsriktningar (0,11 av 0,15 enheter) beror på om mätpunkten befunnit sig på lä eller lovartsidan av gatan. Läsidan har genomgått lägre vindhastighet. Orsaken torde vara den högre turbulens och därmed lägre vindhastighet som skapas av sammanflödet av de primära och sekundära virvlarna på läsideshalvan av gatan (jfr fig 5.4).

Vindhastigheten tycks öka ju större anblåsningsvinkeln är mot gatan. Lägsta värdet erhålles för vind parallell med gatan och högsta för vind tvärs mot gatan. Med direkt jämförelse mellan korsande gator har jag antytt samma förhållande i tidigare sammanhang (Holmer 1970, s 8).

Orsaken till det svaga vindriktningsberoendet bör sökas i den slutna bebyggelsens relativt symmetriska uppbyggnad, där vinden från korsande gator i stort sett balanserar varandra. Den högre vindhastigheten, då vinden blåser an tvärs mot gatan, torde bero på att höjdvindar förs ner mot gatan i lä/lovartvirvlar. Vinden på tvärgatorna bromsas av friktionen, då den strömmar parallellt med dessa och av de motriktade luftströmmarna i gathörnen från lä/lovartvirvlarna på de korsande gatorna.

Parallella byggnader

För mätpunkter mellan parallella byggnader visar sig ett kraftigt riktningsberoende. Variationsbredden mellan de olika anblåsningsriktningarna blir här 0,31 enheter. Högst vindhastighet erhålles vid anblåsningsriktning tvärs mot byggnadernas längdutsträckning. Förklaringen till detta borde vara densamma som ovan angetts för den slutna bebyggelsen. Även vind längs byggnaden har i detta fall hög vindhastighet, men något lägre än då vinden blåste an tvärs mot byggnaderna. Skillnaden gentemot den slutna bebyggelsen torde vara avsaknaden av luft som ström-

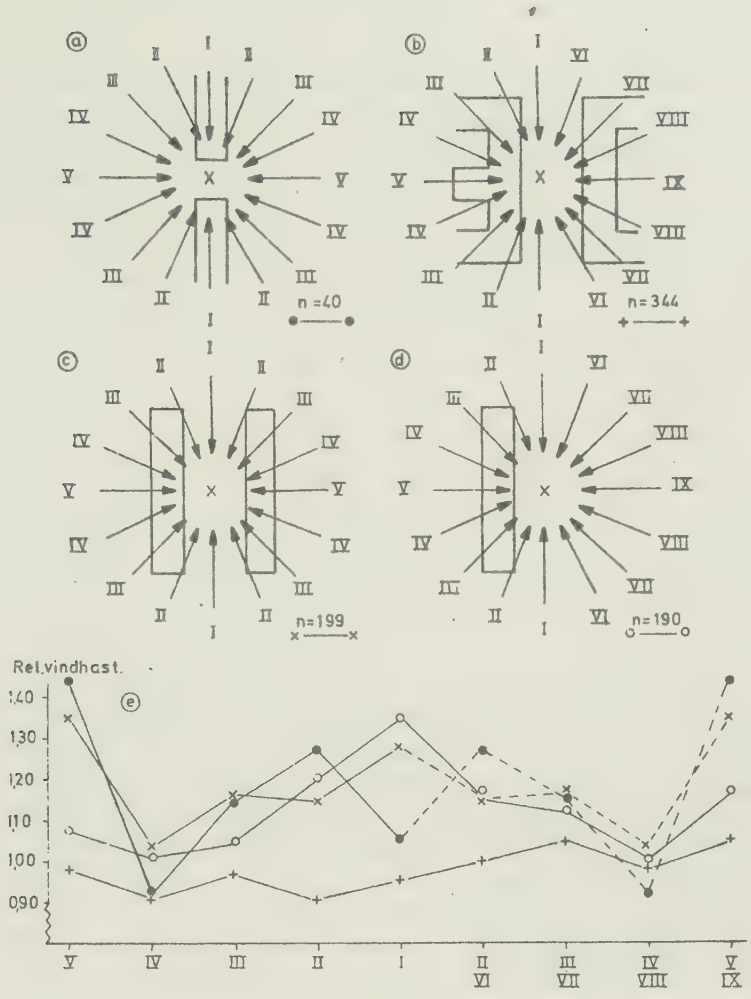


Fig 10.3 Relativa hastigheten vid olika anblåsningsriktningar
a/ trång passage b/ sluten kvartersbebyggelse
c/ mellan parallella hus d/ intill långsträckt hus
e/ medianvärdet av relativa hastigheten

Relative wind speed at different incident wind directions
a/ narrow passage b/ closed building groups
c/ between parallel buildings d/ at elongated buildings
e/ median value of relative wind speed

mar ut i motsatt riktning från tvärgatorna och bromsar luftrörelsen längs gatan. Lägsta vindhastigheten erhålles vid anblåsningsriktningar som nästan ligger tvärs med husens längdutsträckning.

Långsträckt byggnad

Ett minimum för anblåsningsriktningar nära tvärs mot byggnaden finns också för mätpunkterna intill långsträckta hus. Det gäller både för lovart- och läläge. Högst hastighet har anblåsningsriktningar längs och med liten vinkel mot huset. Sekundä-

ra maxima i vindhastighet uppkommer då vinden blåser an vinkelrätt mot byggnaden. I detta läge finns också den största skillnaden mellan lovart- och läläge (0,10 enheter). Den rena lovartvirveln ger således högre vindhastighet än den rena lävirveln. Genomsnittligt har lovartsidan 0,07 enheter högre hastighet. Man kan också lägga märke till att då lä- och lovartvirvlar samverkar mellan parallella hus blir vindhastigheten betydligt högre än om det bara är en enda byggnad. Variationsbredden mellan högsta och lägsta anblåsningsriktning är 0,34 enheter. Orsaken till den höga vindhastigheten, när anblåsningen sker längs byggnaden, torde vara att luftrörelsen då stöttas upp så att turbulensen blir mindre och att rörelsemomentet i stället används till att ge högre vindhastighet.

Trång passage

Trånga passager i en rad av långsträckta hus är endast representerade av två mätpunkter. Sammanlagda antalet observationer är även litet (n=40). Detta gör att de erhållna värdena på relativa vindhastigheten vid olika anblåsningsriktningar blir osäkra.

Att högsta relativa hastigheten erhålles då vinden blåser an vinkelrätt mot husen och rakt in mot passagen är vad man kunnat vänta sig liksom att lägsta vindhastighet i passagen erhålles då vinden blåser an längs byggnaderna. Märkligare är de höga vindhastigheterna för anblåsningsriktning II och de låga för anblåsningsriktning IV. Om detta är slumpeffekter på grund av det ringa antalet observationer eller avspeglar ett verkligt mönster, kan för närvarande inte avgöras.

Vindriktning med högsta vindhastighet mellan byggnader

För den slutna kvartersbebyggelsen har undersökts vilken vindriktning i mätpunkten som har den högsta medelhastigheten vid en bestämd anblåsningsriktning (tabell 10.2). Fördelningen av vindriktningar med högsta medelhastighet följer frekvensfördelningen för de olika vindriktningarna, d v s de vanligast förekommande vindriktningarna är också de som ger de högsta vindhastigheterna mellan byggnaderna. Ju större anblåsningsvinkeln är mot gatan desto mer avviker medianriktningen för högsta hastigheten samtidigt som fördelningens bredd ökar.

Relativ vindhastighet före och efter lövsprickningen i olika bebyggelsetyper

Större delen av vegetationen i Göteborgsområdet består av lövträd och buskar. Det borde därför finnas ett årstidsberoende i vegetationens vinddämpande förmåga. Vid högre basvindhastigheter kan en sådan effekt spåras men ej vid låga (fig 8.1 och 8.2).

Tabell 10.2 Vindriktning med högsta medelhastighet

Wind direction with highest average wind speed

Anblåsningsriktning Incident wind direction		Frekvens (%) av vindriktning med högsta medelhastighet Frequency (%) of wind direction with highest average wind speed										
		NO NE	O E	SO SE	S S	SV SW	V W	NV NW	N N	n	Medianriktn. Median direction	90% var.-bredd 90% range
I	(S)	-	-	14	50	36	-	-	-	14	189°	112°
II	(SSO)	-	-	4	52	39	4	-	-	23	197°	87°
III	(SO)	-	-	10	40	38	4	2	6	26	203°	210°
IV	(OSO)	-	4	15	19	44	8	4	6	24	215°	229°
V	(O)	7	-	7	27	27	13	13	7	15	230°	249°

Ett annat sätt att studera årstidsvariationen i vegetationens vinddämpningsförmåga är att jämföra relativa vindhastighetens förändring i olika bebyggelsetyper före och efter lövsprickningen. En fördel med detta mått är att det utgår från vindfältets genomsnitt och ej från en basvindstation utanför bebyggelsen. På detta sätt erhålles inte en uppskattning av vindens totala dämpningseffekt. I stället är det förskjutningarna inom vindfältet som framträder. I tabell 10.3 visas förändringen i relativ vindhastighet mellan 'sommar' och 'vinter'. Minusvärden anger att sommarvärdena är lägre än vintervärdena.

Mätpunkterna i parkområdena (P) visar den klart största minskningen i relativvindhastighet sommartid, men även den låga och medelhöga slutna bebyggelsen (lS och mS) har stor minskning. Minskningen i de sistnämnda bebyggelsetyperna kan förefalla något överraskande, men i båda dessa bebyggelsetyper förekommer ofta träd på gårdarna och i ett par fall även alléer på gatorna mellan husen. Dessutom kan det vara fråga om en dämpning från omgivningen, då flera av mätpunkterna befinner sig intill de stora parkområdena i Slottsskogen och Allén (Kungsparken). Att inte mätpunkterna i villaområdena (V) har större årstidsvariation är förvånande, eftersom vegetationen ofta är riklig där. Förklaringen torde vara att denna bebyggelsetyp svarar för en så stor andel av totala antalet observationer (24%) att den kommer att vara styrande på genomsnittsnivån av det uppmätta vindfältet och dra ner det till en lägre nivå. Parkområdena däremot representerar endast 1% av observationerna och får därför inte någon sådan påverkan på vindfältets genomsnittsnivå.

Den största förskjutningen mot förhållandevis högre vindhastigheter sommartid har de lågt belägna öppna områdena (Ö,L), vilket förefaller naturligt eftersom kontrasten då skärps mellan de öpp-

ma ytorna och intilliggande bebyggelse med vegetation. Även de andra bebyggelsetyperna med högre sommarvärden tillhör de vegetationsfattiga (lhS,H, Ö,H, hF,L och lhS,L).

Tabell 10.3 Årstidsändring i relativ vindhastighet i olika bebyggelsetyper

Seasonal change of relative wind speed in different types of built-up areas

Bebyggelsetyp Type of built-up area	Rel.hast.-ändring efter/före lövsprickn. Change of relative wind speed after/before foliation	Bebyggelsetyp Type of built-up area	Rel.hast.-ändring efter/före lövsprickn. Change of relative wind speed after/before foliation	Bebyggelsetyp Type of built-up area	Rel.hast.-ändring efter/före lövsprickn. Change of relative wind speed after/before foliation
P,L	-0,34	V,H	±0,00	mF,L	+0,04
lS,L	-0,14	lF,L	±0,00	lhS,L	+0,06
mS,L	-0,11	lF,H	±0,00	hF,L	+0,06
mF,H	-0,05			Ö,H	+0,08
V,L	-0,02			lhS,H	+0,14
hF,H	-0,01			Ö,L	+0,21

De bebyggelsetyper som genomsnittligt har låg vindhastighet får förhållandevis ännu lägre hastighet eftersom de har den mesta vegetationen. I förhållande till genomsnittet får de vegetationsfattiga bebyggelsetyperna, vilka har hög relativ hastighet, än högre hastighet sommartid. Detta innebär en breddning av hela vindfördelningen. Vintertid finns 90% av de relativa hastigheterna i intervallet 0,85 - 1,34 medan motsvarande intervall för sommarmätningarna är 0,57 - 1,52,

Vindändring, orsakad av lövsprickningen, i gator med alléträd

Även inom en bebyggelsetyp kan vegetationsfördelningen medföra förskjutningar mellan olika mätpunkter. Parallellt med den breda och alléförsedda Linnégatan löper på ömse sidor Alvhemsgatan och Sveagatan. Bebyggelsen består av medelhög, sluten bebyggelse.

Relativ vindhastighet

Vindreduktionen orsakad av löven på träden kan avläsas på två

sätt i tabell 10.4. Sommarvärdet på Linnégatan ligger 0,23 enheter lägre än vintervärdet och samtidigt behåller parallellgatorna i stort sett sin relativa hastighet. Före lövsprickningen hade Linnégatan 0,18 enheter högre hastighet än de båda andra gatorna och efter 0,08 enheter lägre hastighet. Både jämförelsen inom Linnégatan och med parallellgatorna visar på en av alléträdens blad orsakad vinddämpning med ca 0,25 enheter. Den högre vindhastigheten på Linnégatan vintertid bör tillskrivas den betydligt större gatubredden, som ger mer utrymme för vinden.

Tabell 10.4 Relativa hastigheten i gator med och utan alléträd

Relative wind speed in streets and avenues

Mätpunkt Measuring-point	'Vinter' 'Winter'		'Sommar' 'Summer'		Differens Difference	
30 Linnégatan (bred gata med allé) broad avenue	1,10		0,87		-0,23	
31 Alvhemsgatan	0,86		0,98		+0,12	
32 Sveagatan	0,97	0,92	0,91	0,95	-0,06	+0,03
Differens	+0,18		-0,08			

Några speciella mätningar

I april 1971 och i april och maj 1972 mätte jag vid några tillfällen upp vindhastigheterna med vindvägmätare på de parallella gatorna Linnégatan och Sveagatan samt Rygatan och Snickargatan. Lövsprickningen var i aprilmätningarna ännu inte påbörjad och hade i majmätningarna endast påbörjats.

Enligt en försöksplan mättes på ömse sidor av och längs gatorna i slumpmässig följd men så att de olika lägena vid jämförelser blir lika ofta representerade. Avsikten var att få en inblick i vindförhållandena mellan gator med och utan allé och även gatubreddens inverkan. Antalet observationer är relativt litet. Någon statistiskt säkerställd signifikant skillnad finns därför antagligen inte för de enskilda jämförelserna. Sammantagna pekar de emellertid på ett entydigt resultat (tabell 10.5).

Före lövsprickningen var vindhastigheten något högre på Snickargatan än på Rygatan. Eftersom de är lika breda bör den lilla differensen bero på att alléträden dämpade vinden något trots att löven ännu ej börjat slå ut. På Linnégatan överstiger vindhastigheten Sveagatans. I detta fall måste det tolkas som att den större gatubredden betytt mer än träden för vindhastigheten. Sannolikt hade dock vindhastigheten varit ännu högre om allén saknats.

Tabell 10.5 Medelhastigheter i parallella gator med och utan allé
Average wind speeds in parallel streets and avenues

Gata	före lövsprickn. before foliation $\bar{v}$ m/s	antal obs.	efter lövsprickn. after foliation $\bar{v}$ m/s	antal obs.
Linnégatan (bred gata med allé broad avenue	1,45	9	2,53	4
Sveagatan	1,31	9	2,95	4
Differens	+0,14		-0,42	
Rygatan (allé) avenue	1,47	11	1,34	4
Snickargatan	1,55	11	1,77	4
Differens	-0,08		-0,43	

Efter lövsprickningen var skillnaden i vindhastighet mellan Rygatan och Snickargatan större än tidigare beroende på lövmassans vinddämpande förmåga. Linnégatan hade nu fått lägre vindhastighet än Sveagatan. Löven på allélträden betydde nu mer för vindhastigheten än den större gatubredden.

Linnégatan och Sveagatan jämfördes tidigare på basis av de relativa vindhastigheterna (tabell 10.4). Resultaten av dessa mätningar, kanske mindre noggranna men tidsmässigt bättre utspridda på en längre del av året, är detsamma som erhållits med de noggrannare, men i tiden mer koncentrerade, vindvägmätningarna.

Variationer i relativa hastigheten under en mätomgång

Genom att för varje mätpunkt jämföra relativa vindhastigheten för en viss mätomgång med medianvärdet för samtliga mätomgångar kan man få ett mått på den enskilda avvikelsen. Om dessa avvikelser plottas längs en tidsaxel får man en uppfattning om vindens variationer under mättidens gång.

Sådana beräkningar har endast utförts för ett fåtal mätomgångar. I fig 10.4 visas en av dessa. Mätomgången har valts därför att både basvindobservationerna vid Torslanda och mätningarna i bebyggelsen tydligt visade att vinden, särskilt mot slutet av mätomgången, ökade avsevärt.

Av fig 10.4 framgår att avvikelserna har stor spridning men vissa tendenser kan ändå skönjas. Beräknas medianvärdet för intervall om 20 minuter framträder tendenserna tydligare.

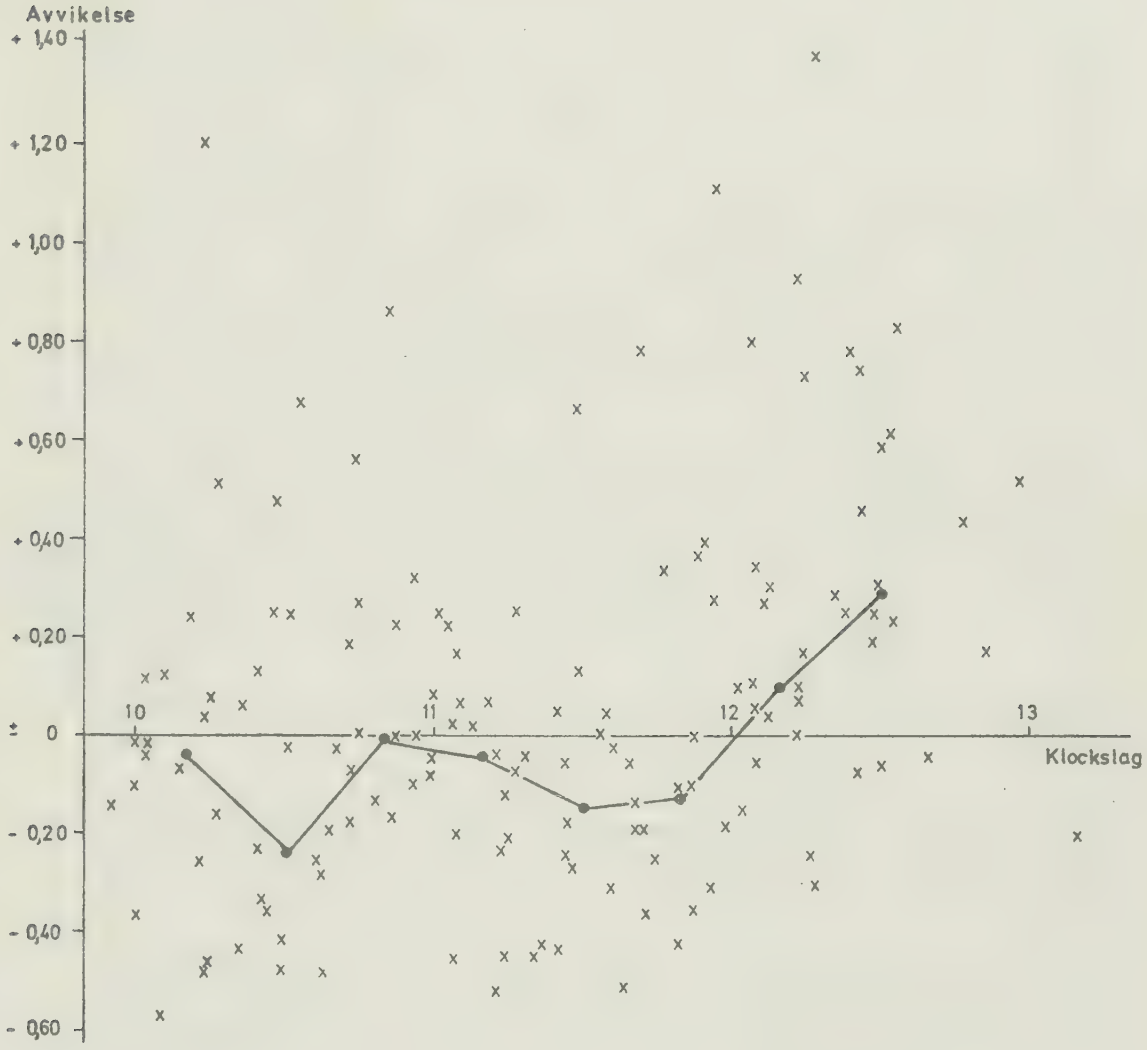


Fig 10.4 Skillnad mellan relativ vindhastighet uppmätt 8 maj 1972 och totala medianvärdet av relativa vindhastigheten för varje enskild mätpunkt

Differences between relative wind speed recorded May 8, 1972 and total median relative wind speed for every single measuring point

Vindhastigheten tycks ha haft ett periodiskt förlopp. Periodiciteten uppträder även i de enskilda mätslingornas värden. Svängningstiden varierar mellan 20 och 70 minuter med högst frekvens för 40-45 minuter.

Med hjälp av lufttrycks- och vindhastighetsregistreringar har Goldie (1925 a) konstaterat en periodicitet kring 10 minuter. Av hans publicerade diagram att döma förekom även svängningar på 30-40 minuter och 4 timmar. Orsaken till de cykliska variationerna anser han vara den av Helmholz beskrivna ocillationen i gränsen mellan två luftlager med olika densitet.

Fram till strax före klockan 12 ligger medianvärdena under medelnivån och sedan sker en snabb vindökning. Vid Torslanda märktes den höjda vindhastigheten redan en timme tidigare. Samtidigt vreds vinden från SSO till SSV, lufttemperaturen sjönk 1° och luftfuktigheten ökade något. Eftersom himlen var molnfri tyder allt på att den observerade snabba vindökningen åstadkommits när sjöbrisfronten passerat in över området.

Sjöbrisen började tidigare i Torslanda än i Göteborg, vilket är naturligt med tanke på avståndet från havet. Inom Göteborg har inte någon trend i sjöbrisens ankomsttid kunnat konstateras. Detta kan bero på att vinden var sydlig men också på att mätningarna i Göteborg utfördes i slingor och att det därför kan vara svårt att säkert bestämma tiden för vindökningen.

Fördelningen av relativa vindhastigheter i Göteborg

Fig 10.5 visar fördelningen inom Göteborg av de relativa vindhastigheterna med cirklar, vars radie är proportionell mot den relativa hastigheten. Denna metod har valts för att framhäva differenserna mellan olika mätpunkter.

Fördelningsbilden är mycket uppsplittrad. Detta beror på den brantkuperade terrängen och bebyggelsens mosaikstruktur. Som klart blåsigaste mätpunkt framträder berget intill Masthuggskyrkan (mtp 16, typ Ö,H) med relativ vindhastighet 2,04, d v s mer än dubbla vindhastigheten jämfört med mätpunkternas genomsnitt. De vindsvagaste mätpunkterna är mtp 54 och 58, båda av typ 1S,L, med relativa hastigheterna 0,69 och 0,70, vilket är 30% under genomsnittshastigheten.

Områden med många vindsvaga mätpunkter är Örgryte (V). Bagaregården-Kålltorp (VII) och Bräcke (X). Högre vindhastighet i ett flertal mätpunkter har Gråberget-Stigberget (I), Johanneberg (IV), Lunden-Stampen (VI), Länsmansgården (VIII) och Biskopsgården (IX). I alla områden finns dock insprängt mätpunkter med högre eller lägre relativ vindhastighet.

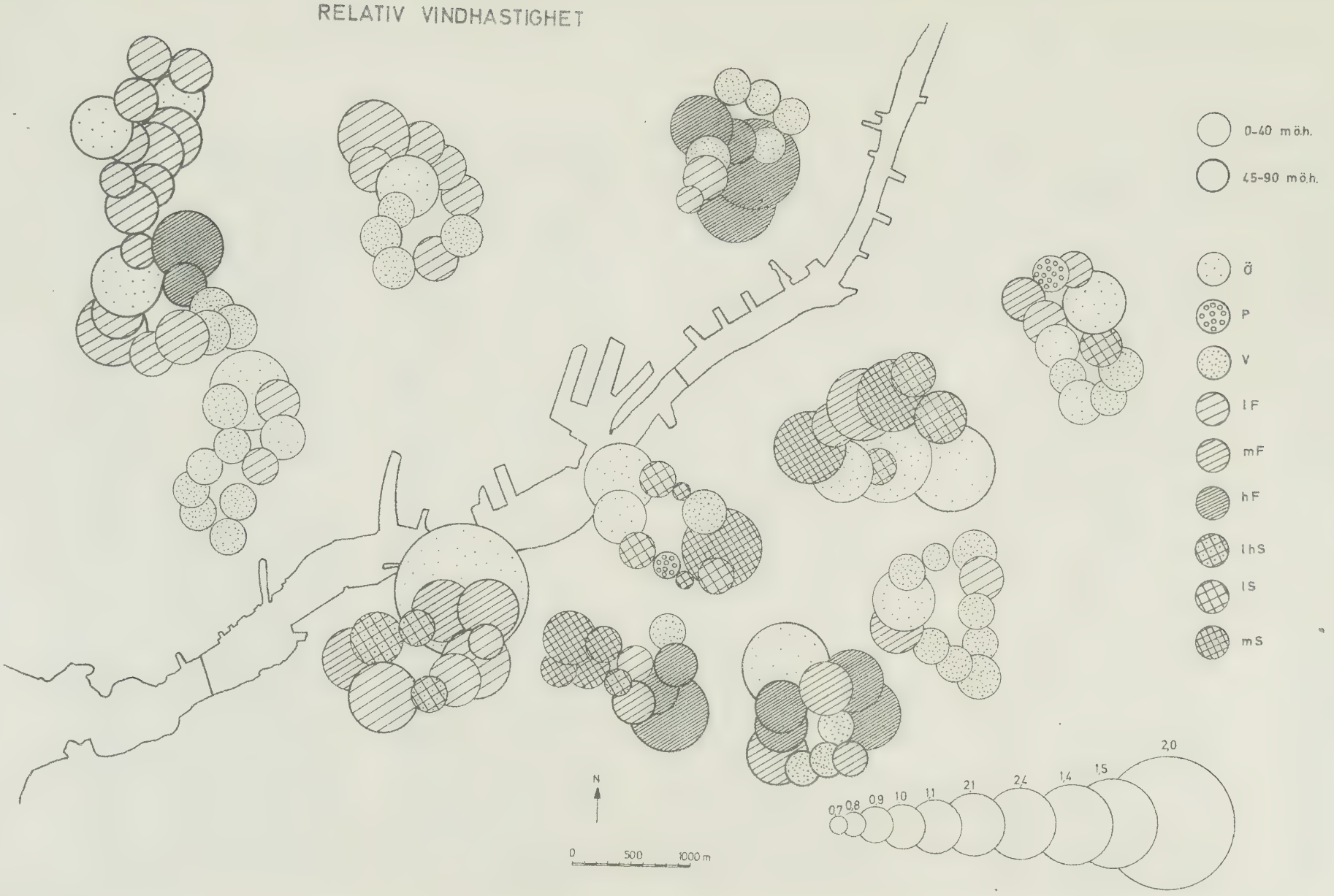


Fig 10.5 Medianvärdet av relativa vindhastigheten i Göteborg Median value of relative wind speed in Göteborg

11. SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION AV TILLÄMPNINGSMÖJLIGHETER

Målsättning

I första hand har målsättningen varit att undersöka vindklimatet inom bebyggelsen - vilka vindhastigheter och vindriktningar som förekommer vid olika basvindriktningar. I andra hand har målsättningen varit att med hjälp av mångårigt statistiskt material beskriva vindklimatet och dess inverkan på andra klimatvariabler. Dessutom diskuteras senare i detta kapitel, hur kunskapen om dessa båda sidor av vindklimatet kan kombineras och tillämpas.

Göteborg och dess klimat

Bebyggelselandskapet. Utmärkande för topografin i Göteborg är den stora slättytan kring älven, de markerade dalgångarna med branta sidor och bergspartierna med relativt jämna överytor. Detta brantkuperade landskap som troligen har större höjdskillnader inom det bebyggda området än någon svensk stad präglar också bebyggelsebilden. Det finns inte utrymme för stora sammanhängande områden med likartad bebyggelse. I första hand har slättytan på södra sidan av älven bebyggts, sedan dalbottnarna och i sista hand bergspartierna. Många dalsidor är alldeles för branta för att ge utrymme åt någon bebyggelse.

Vindriktningarna varierar åtskilligt hela året med viss dominans för vind från V-SV-S (50 %). Sommartid finns ett markerat maximum för V-vindar. Vintertid är resulterande vindriktning ONO för svaga vindar och SV-SSV för starkare. Sommartid är resulterande vindriktning VSV-SV för alla vindhastigheter.

Vindhastigheten har minimum på sommaren och maximum på vintern, då även variationsbredden är störst. Vindhastigheten är högre när det blåser från S-SV-V än för övriga vindriktningar.

Nederbörden har sensommarmaximum och vårminimum. Antalet nederbördsdagar är dock störst under senhösten-vintern. Vindhastigheten är vid nederbördstillfällen högre än genomsnittet. Högst nederbördsfrekvens har vind från S. Under vintern är vind från V-NV-N sällan nederbördsförande. Vid snöfall blåser det vanligen från NO eller O. Sommartid regnar det oftare vid vind från S-SV-V än vid övriga vindriktningar.

Temperatur. Vintertid infaller de låga temperaturerna i situationer som kännetecknas av låg molnighet och låg vindhastighet, vilket även medför stor dygnsvariation. Den dåliga ventilation-

en vid dessa tillfällen medför att koncentrationen av svaveldioxid i luften ökar. Sommartid är det endast vid de lägsta temperaturerna man kan se någon positiv samvariation med vindhastigheten.

Storm och orkan i Göteborgsområdet

Storm. I genomsnitt är det 6 stormdagar per år med största frekvens vintertid. Vindriktningen är vid dessa tillfällen lika fördelad på sektorerna NV-VNV-V och S-SSV-SV.

Orkaner som ger svår skadegörelse på skog och bebyggelse förekommer med en återkomsttid på 15-20 år. Vanligaste vindriktning är från NV.

Vindriktningar mellan hus

Metodik

Mellan byggnader har vinden undersökts efter två huvudprinciper

1. direkta observationer av vindriktningar, utförda längs mätslingor, var och en omfattande tolv mätpunkter,
2. kartering av vindspår, speciellt sådana som uppkommit vid snöfall.

Inverkan av ändrad basvindriktning

Både mätningar och snöspår visar att vid en given basvindriktning blir det observerade vindmönstret i stort sett lika vid olika observationstillfällen. Ändras basvindriktningen ändras också vindriktningen mellan husen i ungefär samma grad på de flesta ställen. I smala passager, vid hörn och i en del oregelbundna husgrupper kan en ändrad basvind ibland orsaka en markant omläggning av vindmönstret, men resultatet kan även bli helt obetydligt.

Tolkningsmodell

I rätvinkligt och regelbundet uppbyggda områden framträder ett karakteristiskt strömningsmönster med virvlar med horisontell axel mot, mellan och bakom husen och virvlar med vertikal axel vid hushörnen. Dessa virvlar styrs av vinden ovanför området. Blåser vinden an vinkelrätt mot husen kommer vinden vid marken framför, mellan och bakom husen att få mer eller mindre rakt motsatt riktning. Är vindens anblåsningsriktning sned i förhållande till husen kommer virvlarna att dras ut till spiraler längs husen, vilket medför att vindriktningen kring husen ungefärligen 'reflekteras' mot hussidorna. Ju mindre anblåsningsvinkel desto mindre blir också markvindens vinkel mot husens längdutsträckning.

Inverkan av oregelbunden bebyggelse

Det enkla strömningsmönster modellen ger kan deformeras avsevärt om det i närheten finns parkområden, öppna ytor eller avvikande bebyggelse. Samma sak sker om bebyggelsegeometrin ändras så att husen inte längre bildar slutna kvarter eller parallella rader utan är byggda i vinklar eller ramar in mer eller mindre slutna gårdar. Då ges ökade möjligheter för horisontella avlänkningar kring byggnaderna och möjlighet för uppkomsten av pulserande system, där två vindriktningar växelvis dominerar.

Inverkan av topografi

Appliceras den enkla tolkningsmodellen på större områden, företrädesvis sådana där en stor mängd snöspår karterats, kommer likheten med de observerade vindriktningarna att bli påtaglig i områden med rätvinklig och enhetlig bebyggelse. I komplicerade bebyggelsegrupperingar går det inte i lika stor utsträckning att få den enkla tolkningsmodellen att stämma överens med de vindriktningar som observerats.

Även i homogent uppbyggda områden kan det ibland vara svårt att erhålla tolkningar som inte förefaller motstridiga. Ser man till omgivningens topografi kan den emellertid i flertalet fall ha förmodats vrida vinden ovan hustaken. Med hänsyn taget till detta kan den enkla tolkningen enligt modellen utnyttjas. På detta sätt kan modellen användas för att lokalisera områden, där topografi och/eller bebyggelse motiverar ett intensivare studium av vindförhållandena.

V i n d h a s t i g h e t e r i b e b y g g e l s e n

Metodik

Vindhastigheterna har huvudsakligen mätts upp med enkla byvindmätare (Ventimeter) och en mindre del med vindvägmätare som ger bättre precision. Mätningarna har utförts i slingor omfattande 12 mätningar. Det tar ca 2 timmar att genomföra en mätslinga. Upp till 12 slingor har mätts samtidigt. Mätningarna kan delas i två grupper:

1. slingor med några hundra meter mellan varje mätpunkt, vindhastigheterna har mätts upp vid åtskilliga tillfällen
2. slingor med små avstånd mellan mätpunkterna, vindhastigheterna har endast mätts upp vid enstaka tillfällen.

Vindreduktion

Vinden reduceras mycket kraftigt i bebyggelselandskapet. För Göteborg ligger reduktionen på ca 60%. Reduktionen är årstidsberoende. Vid höga basvindhastigheter är vinden i bebyggelsen lägre på sommaren än på vintern vid samma basvindhastighet.

Detta förklaras enklast av att den vegetation som finns mellan husen dämpar vinden mer på sommaren. Vid låga basvindhastigheter är förhållandet omvänt. Vindhastigheten mellan husen är förhållandevis högre på sommaren än på vintern, vilket kan förklaras av att den ökade konvektionen sommartid ger större möjligheter för vinden ovan hustaken att föras ner mellan husen.

Jämförelsen med Torslanda är osäker, eftersom bl a instrument och mäthöjd ej direkt kan jämföras. Mätningar i mindre orter på Västgötaslätten, vilka gett direkt jämförbara värden, visade emellertid en vindreduktion på ca 50% och att den i någon mån berodde på ortstorleken.

Vindens byighet

Vid en viss basvindhastighet kommer de mätpunkter som har högst medelhastighet att ha den jämnaste vinden, d v s byigheten i hastighet och riktning kommer att bli mindre än hos mätpunkter med lägre medelhastighet. Däremot ökar byigheten med ökande basvindhastighet, vilket resulterar i att paket med hög vindhastighet kan tränga ner till mätpunkten.

Variationer inom bebyggelselandskapet

I bebyggelselandskapet styrs vindhastigheten vid en viss basvind av mätpunktens topografiska läge, bebyggelsetypen, hushöjd och vegetationsförhållanden. Dessutom bör luftens stabilitet påverka vindhastigheten. Någon sådan analys har emellertid inte ansetts möjlig att genomföra på tillfredsställande sätt.

Ju högre upp en mätpunkt är belägen desto mer exponerad är den genomsnittligt, vilket medför högre vindhastighet. Hög hushöjd innebär också en förhöjning av vindhastigheten kring huset. Öppna platser har högst vindhastighet. Sedan följer fritt grupperad bebyggelse, sluten bebyggelse, villaområden och parker. Vid låga basvindhastigheter kan medelhög-hög, fritt grupperad bebyggelse få högre vindhastighet i markplanet än öppna platser beroende på att husen kan böja ner höjdvindar mot marken.

Vegetationen, särskilt på sommaren, dämpande inflytande på vindhastigheten märks i att de vegetationsrika bebyggelsetyperna på sommaren får relativt sett ännu lägre vindhastigheter. Vegetationens roll framgår också vid jämförelser av gator med och utan alléträd.

Bebyggelsens och omgivningens utformning kan medföra att vindhastigheten relativt sett blir högre eller lägre för vissa vindriktningar. Mellan parallella och intill långsträckta hus erhålles högre vindhastighet, då vinden blåser an vinkelrätt mot eller längs husen. I den slutna kvartersbebyggelsen har anblåsningsriktningen mindre betydelse, troligen beroende på att vinden från tvärgator motverkar strömningen vid mätpunkten.

Mätningarnas representativitet

De snöspår som karterats är vanligen bildade vid frontpassager, men även konvektiva snöfall i kalluftmassor har karterats. Dimfrostavsättningarna bildades under en högtryckssituation med stabil luftskiktning. Ansamling och kalblåsning av höstlöv undersöktes efter tillfällen med relativt hård vind med troligen ganska neutral luftskiktning. Några avgörande skillnader i tolkningen av dessa olika vindspår, vilka troligen skulle kunna hänföras till vädertypen, har jag inte funnit. Man bör emellertid hålla i minnet att de i första hand representerar nederbördstillfällen vintertid.

Mätningarna av vindhastigheter spänner över fler vädersituationer och även över en större del av året. Men det saknas t ex rejäla vinterförhållanden med snö och kyla samt högsommarmätningar. Mätningar i svaga och medelstarka vindar är representerade ungefär som årsgenomsnittet, men de starka vindarna, särskilt från SV och V, är svagt företrädda. I gengäld ingår några mätningar från den extrema västliga stormen i september 1969. Resultatet från dessa mätningar faller väl in på de nivåer, som kan extrapoleras fram ur mätningarna vid lägre basvindhastighet. Det förmodade vindavtagandet från kusten och inåt land skulle kanske framträda vid en bättre representation av västvindar.

Det förefaller mig rimligt, trots att materialet har vissa begränsningar, att de uppnådda resultaten har mer allmän giltighet. Men det finns också anledning att, just med tanke på dessa begränsningar, vara försiktig vid analys eller prognos av luftströmningen t ex en varm sommardag eller vid ett inversionstillfälle.

Några möjliga tillämpningar

Med utgångspunkt från den statistiska bilden av Göteborgs klimat och resultaten av mätningarna inom bebyggelsen kan vissa tillämpningsmöjligheter av kunskapen om vindklimatet skisseras.

Ur belastningssynpunkt är vindriktningen vid orkantillfällena väsentlig. Exponerade lägen mot NV-V bör därför undvikas, om inte speciella förstärkningar och förankringar utföres. Hårda vindar förekommer också från S, men inte riktigt med samma styrka.

Slagregn, d v s den horisontella delen av en regndroppes rörelse, kan innebära svårigheter med tätning kring fönster. Vind från S-SV-V har hög nederbördsfrekvens samtidigt som vindhastigheten är högre än genomsnittet för dessa riktningar.

Ur energisynpunkt är ett högt exponerat läge ogynnsamt eftersom det medger kraftig vindavkylning. Eftersom resulterande starka vindar vintertid kommer från SSV är en exponering i den riktningen olämplig ur avkylningshänseende. Vid svaga vindar kommer re-

sulterande vind från ONO. Om man antar att avkylningen blir mindre ju mindre frontyta som vänds mot vinden, borde ur denna synpunkt en orientering av huset i SSV-NNO vara att föredra.

De högsta koncentrationerna av luftföroreningar i stadsluften förekommer vid vind från ostliga väderstreck. De tycks vara orsakade av en kombination av hög emission, eftersom den kalla luft som vanligen förs in med ostliga vindar medför ett ökat uppvärmningsbehov, och dålig ventilation, som följd av högre frekvens av liten blandningshöjd vid ostliga vindar.

Emissionerna från de tunga industrierna på Hisingen ger inte speciellt höga värden i stadens centrum, trots att de i förhållande till förhärskande vindriktning i stort sett har lovartsposition till stadskärnan. Detta torde bero på att ventilationen är bättre när det blåser från västliga väderstreck, vilket också kan förklara att spridningsmodeller för framtida utbyggnad av raffinaderierna tillåter mycket stora produktionsökningar utan att svaveldioxidhalten överstiger normerna.

Där koncentrationen av luftföroreningar kan förväntas bli höga kan det vara lämpligt att bebyggelsen medger en god ventilation. Glest liggande höga hus med bredaste sidan mot vinden borde kunna förstärka den vertikala omblandningen. Vintertid, då koncentrationen av luftföroreningar är som störst, är resulterande vind vid svaga vindhastigheter från ONO. En husorientering i NNV-SSO skulle således kunna förbättra ventilationen.

Sommartid kan borttransport av obehagligt varm luft gynnas på samma sätt. Resulterande vind sommartid vid svaga vindar är från VSV, d v s rakt motsatt vinterhalvåret. Samma husorientering skulle därför vara lämplig även i detta fall.

Snöförande vindar kommer huvudsakligen från NO och O. Den östvända sidan av en byggnad kommer då att hållas mera fri från snö än den västvända sidan. Ur snöröjningssynpunkt borde det således vara lämpligt att gångstråk ligger mot den östra sidan av husen.

Vindskydd för starka vindar både sommar och vinter skulle också erhållas om gångstråk förläggs till den östra-nordöstra sidan av husen, eftersom resulterande vindriktning för starka vindar är från ungefär SV.

I trånga passager och gångtunnlar genom hus kan obehagligt höga vindhastigheter uppkomma, om vinden pressas rakt in genom öppningen. Hela året kommer öppningar mot SV att vara i utsatt position vid höga vindhastigheter och sommartid även vid låga.

Områden som är vindexponerade bör vid exploatering bebyggas med låga hus, inbäddade i riklig vegetation. Ur denna synpunkt blir t ex Rannebergen ett avskräckande exempel på hur ett vindutsatt område, vilket tydligt framgår av vinddeformerade träd och buskar, bebyggts med höga hus som ger ringa vindreduktion eller t o m förstärkning av vinden.

Vintertid har de svaga, men kanske obehagligt avkylande vindarna resulterande frekvens åt rakt motsatt håll, d v s från NO Husorientering i ONO-VSV borde liksom i föregående exempel ge gynnsammaste vindförhållanden i dessa öppningar.

Vind längs hus och tvärs mot hus kan i särskilt hög grad ge upphov till obehagligt höga vindhastigheter. Husorientering i N-S eller O-V skulle för de flesta månader och vindhastigheter ge resulterande vindar med sned anblåsningsriktning och således mer dämpad vind.

Låga hus med en bebyggelsegruppering som inte verkar ledande på strömningen och som är omgiven av riklig vegetation kan anses vara lämpligast om man vill uppnå bästa möjliga reducering av vinden både vad gäller medelhastighet och byighet.

Slutkommentar

De olika kriterier som kan ställas upp för vindklimatet i ett område kan inte alla uppfyllas utan komma i konflikt med varandra. T ex ger husorientering VSV-ONO bättre vindförhållanden i passagerna mellan husen, men samtidigt verkar husen som ledskenor för vinden och ger ökad vindhastighet längs husen.

I vissa fall kommer faktorer som ger ett bra vindklimat att samverka med andra klimatparametrar. Buskar och träd dämpar vinden. Samtidigt verkar de som filter för partikulära luftföroreningar, ger viss bullerdämpning och utjämnar temperaturvariationer så att både de allra högsta sommartemperaturerna som den nattliga avkylningen dämpas. Mot dessa gynnsamma effekter kan ställas att vegetationen kan ge upphov till besvärande skuggbildning. Med tanke på de resulterande vindriktningarna bör dock vegetationen företrädesvis grupperas sydväst resp nordost om det objekt som skall skyddas, vilket medför att det i första hand är eftermiddagssolen som avskärmas.

Planering där klimatet beaktas kan sannolikt leda till avsevärda vinster på flera områden: byggnadskonstruktion, medicin, energi och komfort. Fortfarande återstår emellertid mycket arbete för att utröna vilka vindkriterier som är de ur planeringssynpunkt väsentligaste inom olika klimatzoner i landet, inom olika bebyggelsetyper och topografiska lägen. Vindeffekterna måste också vägas samman med övriga lokalklimateffekter, t ex uppvärmning och beskuggning. Dessutom måste ju många andra krav ställas på ett bebyggt område för att marken skall utnyttjas på bästa sätt och för att det skall fungera tillfredsställande. För att uppnå detta goda fordras att företrädare för olika kunskapsområden samverkar från första planeringsstadiet, genom hela planeringen, exploateringen och inflyttningen i området. Men det behövs också rutinmässig efterkontroll och utvärdering av om resultaten blev de avsedda och att dessa erfarenheter snarast möjligt återförs till planeringsskedet för kommande projekt.

12. S U M M A R Y

The purpose of this study is to give

1) a description of the wind climate in Göteborg based on official meteorological records from the stations of Göteborg and Torslanda airport (11 km NNW of the city centre);

2) a description of the wind climate within the built-up area of Göteborg based on my own observations in order to find out occurring wind speeds and wind directions and how factors, e.g. building type, building height, and topography influence the urban wind field.

G ö t e b o r g a n d i t s c l i m a t e

The urban landscape

The main features of the topography of Göteborg are the low plains on both sides of the river Göta älv, the distinct steep-sided valleys, and the hills with relatively smooth crests. This dissected landscape, probably with the greatest height differences of any Swedish town, influences the built-up area. There is not space enough for large areas with the same building type. The plain on the southern side of the river was first used, then the valleys and finally the hills. Many valley sides are too steep to maintain any buildings.

Wind

Wind directions from W-SW-S dominate the whole-year distribution. Summer has a distinct maximum for winds from W. In winter the resultant wind direction is ENE for weak and SW-SSW for stronger winds. In summer the resultant wind direction is WSW-SW for all wind speeds.

The wind speed has a minimum in summer and a maximum in winter. The latter season also shows the greatest range. The wind speed is higher when winds from S-SW-W are blowing.

Precipitation

The precipitation has a late summer maximum and a spring minimum. The number of precipitation days is greatest during late autumn and winter. The wind speed is above the monthly average on occasions when precipitation occurs. Winds from S have the greatest precipitation frequency. During winter winds from W-NW-N seldom result in any precipitation. The wind is mostly blowing from NE or E during snow-fall. In summer rain falls more frequently with winds from S-SW-W than at other wind directions.

Temperature

In winter low temperatures are connected with little cloudiness and low wind speed, which also cause greater diurnal temperature range. The poor ventilation on these occasions give rise to high concentrations of sulphur dioxide. In summer there is some covariance between temperature and wind speed only at the lowest temperatures.

Storms and hurricanes in the Göteborg area

On an average there are six storm days per year, with the greatest frequency in winter. The wind directions on these occasions are equally distributed on the sectors NW-WNW-NW and S-SSW-SW.

The occasions with hurricanes (>30 m/s or 12 Beaufort) according to the meteorological records have been compared with the description of the damages in the newspaper "Göteborgs Handels- och Sjöfartstidning". It is worth noticing that not all 'hurricanes' deserve this epithet. Hurricanes causing severe damages in forests and built-up areas occur with a return period of 15-20 years. The wind direction is mostly NW.

Wind directions between buildings

Methods

The wind directions between buildings have been studied in two ways:

1) direct observation of wind directions by measuring teams during measuring routes, each comprising 12 measuring points; wind directions were observed every ten seconds during six minutes in eight directions in relation to the buildings.
2) mappings of wind tracks, especially those created during snow fall.

Change in base wind direction

Both the direct measurements and the snow tracks have shown that at situations with a given base wind direction (i.e. the wind direction above the area approximated as the resultant wind direction at Torslanda airport) almost the same air-flow pattern can be recorded between the houses. If the base wind direction changes, also the wind directions between the buildings change to about the same degree in most places. In narrow passages, at corners and in some irregular building groups a small base wind change might cause a great change in the wind pattern, but the result might also be quite insignificant.

Interpretation model

According to the interpretation model I have used there is in right-angled and regular built-up areas a characteristic air-flow pattern with vortices with a horizontal axis in front of, between and behind the buildings and vortices with a vertical axis at the corners. These vortices are controlled by the wind above the area. If the incident wind blows at right angle to the buildings, the wind in front of, between and behind the buildings will have the opposite direction. If the incident wind blows at oblique angle to the buildings, the vortices will stretch out to helices. The wind direction around the houses will then be 'reflected' against the walls. The lesser the angle of the incident wind is to the building, the lesser is also the angle of the wind at the ground to the building.

Irregular building groups

The simple air-flow indicated by the interpretation model can be deformed to a great extent, if there are parks, open areas or different types of buildings in the vicinity. Deformations are also created if the buildings are no longer built in closed groups or parallel rows but in angles or around more or less closed yards. Then possibilities increase for horizontal deviation of the wind around the buildings and for a pulsating system with two alternating wind directions.

Topography

If the simple interpretation model is applied to larger areas, mainly those where many snow tracks have been mapped, the similarity between observed directions and those predicted by the model is obvious in areas with parallel buildings or closed building groups. In complex building groups the simple interpretation model will not agree with the observed wind directions to the same extent. But even in homogenous built-up areas it is sometimes difficult to obtain interpretations which are not conflicting. In most cases the deviations could have been caused by the surrounding topography.

W i n d s p e e d s b e t w e e n b u i l d i n g s

Methods

Wind speeds have mainly been recorded with simple gust anemometers (readings every ten seconds during six minutes) and to a lesser extent with wind-way anemometers which have a better precision. The measurements have been made during measuring routes comprising 12 recordings. A measuring route takes two hours. At most 12 measuring routes have been investigated at the same time by the observation team. About two thirds of the measurements were made in measuring routes with some hundred meters between the measuring points. Wind speeds have been recorded on several occasions

The purpose was to get a picture of the average wind speeds in the urban landscape and of the controlling factors. One third of the measurements was obtained during measuring routes with shorter distances between the measuring points. Here wind speeds have only been recorded on single occasions with the purpose of investigating the wind speed variation within complex buildings groups. The latter type of recordings is sparsely used in the present thesis.

Reduction of wind speed

The wind speed is greatly reduced in the urban landscape. In Göteborg the reduction is about 60%. The reduction depends on the season. At high base wind speeds the wind in the built-up area is lesser in summer than at the same base wind speed in winter. This can most easily be explained by the greater wind reducing effect in summer due to the deciduous trees. At low base wind speeds the relation is the contrary. Wind speeds in the built-up area are proportionally higher in summer than in winter, which can be explained by the more frequent convection in summer with increasing opportunities for the wind above the roofs to be carried down between the buildings.

The comparison between the urban landscape in Göteborg and the open area at Torslanda airport is uncertain, due to differences in measuring height and anemometer type and also due to the dissected landscape. Recordings in smaller towns and villages on the Västergötland plain with the same method outside and within the built-up areas have given a safer estimate of the average building effect on wind speed. These measurements show a wind reduction of about 50% but also a dependence on the area of the villages.

Gustiness

At a given base wind speed those measuring points which have the highest average wind speed also have the most even wind, e.g. longitudinal and lateral gustiness will be reduced in comparison with measuring points with lower average wind speed. On the other hand the gustiness increases with higher base wind speed, which means that there are more possibilities for parcels with higher wind speed to penetrate to the measuring point.

Variations of average wind speed

In the urban landscape the wind speed at a given base wind speed will be controlled by the topographical site of the measuring point, house type, building height and vegetation. Furthermore the stability of the air ought to influence the wind speed, but this effect has not been investigated.

Measuring points situated at high elevation are on an average more exposed and have a higher wind speed. Great building height

also implies a higher wind speed between the buildings. Open places have the greatest wind speed followed by freely grouped buildings, closed building groups, detached houses and parks. At low base wind speeds medium high and high freely grouped buildings may have greater wind speed than open areas due to downward transport of wind from higher levels.

The damping effect on wind speed by vegetation, especially in summer, will lead to relatively still lower wind speeds in built-up areas including much vegetation. The role of vegetation is also made clear by comparison of streets with and without trees.

The layout of the buildings and the topography of the vicinity can cause the wind speed to be comparatively higher or lower at certain incident wind directions. Between parallel buildings or at elongated houses wind speed is higher when the wind is blowing at right angle or along the buildings. In closed building groups the incident wind direction has little importance, probably due to wind from crossing streets.

Representativeness of the measurements

The snow tracks were usually created when frontal zones passed the area, but also convective snow fall in cold air masses have been mapped. The fog deposits were observed during a period with high air pressure and stable lapse rate. Drifts of autumn leaves were investigated after periods of relatively strong wind and probably nearly neutral lapse rate. Any special differences in the interpretation of these different kinds of wind tracks depending on weather type cannot be found. It should, however, be remembered that the wind tracks in the first place represent occasions with winter precipitation.

The recordings of wind speeds include more weather situations and a greater part of the year, but cold winter days with snow and hot summer days are inadequately represented. Measurements in weak and moderate base wind speeds occur as the year average, but the strong winds - especially those from SW and W - are poorly represented. In return some recordings obtained during the extreme storm from W on the 22nd of September 1969 are included. The results of these recordings were close to the values prediced by extrapolations of measurements at lower base wind speeds. It seems reasonable that, in spite of the limitations, the obtained results have a general validity. There are reasons, however, to be careful with predictions of the air flow on days with inversions and on hot summer days.

Some possible applications

On the basis of the increased knowledge of the wind climate of the wind climate of the urban landscape some applications can be outlined. There will be two kinds of applications:

1/ Considerations of how industrial areas, different types of residential areas and parks ought to be laid out in relation to topography and climate.

2/ Considerations of the shape, height and orientation of buildings in a certain area.

The first group involves such things as to avoid sites exposed to hurricane winds, driving rain, energy losses due to cooling by high winds and high pollution levels.

In the second group the purpose is to get a better wind climate at a given place. If the site is exposed to high winds the buildings ought to be low and embedded with vegetation to give more comfortable wind speeds and less cooling of the houses. The buildings also ought to be orientated in oblique angle to the resultant strong and/or cooling winds.

If the site is well sheltered there will instead be demand of better ventilation. The buildings then ought to be scattered, relatively high and orientated along or at right angle to the wind. This might reduce the effect of unpleasant heating on hot summer days, cooling by thin inversion layers or concentrations of local immissions from e.g. motor vehicles.

The different criteria which can be raised for the wind climate in an area cannot all be satisfied at the same time. For example, orientation giving low wind speeds in narrow passages through the buildings at the same time will increase wind speed due to channeling along the buildings.

Another example is the snow-giving winds. If the streets and paved foot-ways are located on the side of the building which is windward on these occasions they will be cleared of snow by the vortices in front of the buildings. But at the same time these places will have uncomfortable high winds during the snow falls. In Göteborg this is yet the most favourable location because the strong winds are coming from the opposite direction all the year. By planting vegetation on the side which is windward to the strong winds wind speed will be reduced between the buildings.

In some cases factors giving a good wind climate will also co-operate with other climate parameters. Bushes and trees damp the wind speed and act simultaneously as filters for particulate matters. At the same time they reduce the noise level and smother temperature variations. Against these positive effects stands that the vegetation can cause disturbing shades.

Planning with climatological considerations included will probably lead to considerable profits in construction, energy, health, and comfort. Still much work is required to demonstrate which wind criteria are most essential in different climate regions, within different parts of the built-up area and topographical sites. Wind effects must also be seen in relation to other climatic criteria as well as all other criteria necessary to get a well functioning area. This requires that climatologists are involved in the whole planning and building of an area. But it is also necessary to check the local climate when the houses are built and to return this knowledge to the planning of coming projects.

LITTERATUR

Ackeret, J., 1965: Anwendung der Aerodynamik im Bauwesen. Zeit. f. Flugwissenschaften 13, pp 109-122.

Ackermann, B., 1974: Wind fields over the St. Louis metropolitan area. Jour. of the air poll. cont. ass. 24, pp 232-236.

Ahrens, D., 1970: Vergleich der Windrichtung in der freien Atmosphäre und am Boden in der Oberrheinebene. Met. Rundschau 23, pp 135-139.

- 1977: Windscherungen in den unteren 700 M der Atmosphäre in Abhängigkeit von Tageszeit und Diffusionsklasse. Met. Rundschau 30, pp 172-175.

Albrecht, F., 1933: Untersuchungen der vertikalen Luftzirkulation in der Grosstadt. Met. Zeit. 50, pp 93-98.

Allen, J.R.L., 1964: Primary current lineation in the lower Old Red Sandstone (devonian), Anglo-Welsh basin. Sedimentology 3, pp 89-108.

- 1970: Physical processes of sedimentation. London, 248 p.

Andersson, B., Jacobsson, H., Jönsson, E., Heijl, M. & Josefsson, T., 1977: Göteborgs utbyggnad. Några bidrag till Göteborgs stadsbyggnadshistoria. CTH, Utopi 3, 189 p.

Andersson, O. & Spännar, L., 1972: Vindstudier på Gotland. Fältkursarbete, Naturgeogr. inst., Göteborg, 7 p.

Andréasson, K., Brosset, C. & Steen, B., 1973: Investigation of long distance transported air-borne particulate matter during the December episode 1972. Institutet för vatten- och luftvårdsforsk., B 154, 20 p.

Angell, J.K. & Pack, D.H., 1965: A study of the sea breeze at Atlantic City, New Jersey, using tetroons as lagrangion tracers. Monthly weather rev. 93, pp 475-493.

Anto, A.F., 1977: Observational studies and land-sea breeze phenomena around the island of Sylt. Met. Rundschau 30. pp 118-122.

Arkitekturguide över Göteborg, 1960. Göteborg, 96 p.

Atkinson, B.W., 1970: The reality of the urban effect on presipitation - a case-study approach. WMO, Technical note N:o 108, pp 342-360.

Axelsson, V., 1967: The Laitaure delta. A study of deltaic morphology and processes. Geogr. Annaler 49 A, pp 1-127.

Bach, W., 1970: An urban circulation model. Archiv f. Met., Geoph. und Biokl., B 18, pp 155-168.

Bergenkull, G. & Löfvendahl, R., 1969: Vinderosionsstudier runt Helagsfjället. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 472, 23 p.

Bergeron, T., 1968: Studies of the oreingenic effects on the areal fine structure of rainfall distribution. Met. inst., Uppsala, Rapporter 6, 23 p.

Bhumralkar, C.M., 1973: An observational and theoretical study of atmospheric flow over a heated island. Monthly weather rev. 101, pp 719-730.

Bjelanović, M.M., 1967: Mesoklimatische Studien im Rhein- und Moselgebiet. Bonn, 231 p.

Bradley, E.F., 1968: A micrometeorological study of velocity profiles and surface drag in the region modified by a change in surface roughness. Quart. jour. of the royal met. soc. 94, pp 361-379.

Bringfelt, B., 1971: Important factors for the sulphur dioxide concentration in central Stockholm. Atmosph. env. 5, pp 949-972.

Brosset, C., 1976: Air-borne particles: Black and white episodes. Ambio 5, pp 157-163.

Brosset, C., Andréasson, K. & Ferm, M., 1974: The nature and possible origin of acid particles observed at the Swedish west coast. Institutet för vatten- och luftvårdsforsk. B 189. 57 p.

Brosset, C & Åkerström, Å., 1972: Long distance transport of air pollutants - measurements of black air-borne particulate matter (soot) and particle-borne sulphur in Sweden during the period of September-December 1969. Atmosph. env. 6, pp 661-673.

Brownlee, K.K., 1965: Statistical theory and methodology in science and engineering. Second ed. New York, 590 p.

Buettner, K.J.K. & Thyer, N., 1966: Valley winds in the Mount Rainier area. Archiv f. Met., Geoph. und Biokl. B 14, pp 125-147.

Byggforskningen, 1969: Byggnadsaerodynamik. Revy över aktuella frågeställningar. Rapport f. Byggforsk. 25/69, 189 p.

Carruthers, N., 1943: Variations in wind velocity near the ground. Quart. jour. of the royal met. soc. 69, pp 289-301.

Cehak, K., 1969: Beobachtungen der Böigkeit des Windes im mittleren Turbulenzbereichen. Archiv f. Met., Geoph. und Biokl. B 17, pp 345-356.

Chandler, T.J., 1970: Urban climatology - inventory and prospect. WMO, Technical note N:o 108, pp 1-14.

Clarke, J.F., 1969: Nocturnal urban boundary layer over Cincinnati, Ohio. Monthly weather rev. 97, pp 582-589.

Cornish, V., 1902: On snow-waves and snow-drifts in Canada, with notes on the 'snow-mushrooms' of the Selkirk mountains. Geogr. jour. XX, pp 137-175.

Crammer, H., 1905: Einiges über Rückzugserscheinungen des Gletschers der 'Ubergossenen Alm' in Salzburg. Petermanns Geogr. Mitt. 51, pp 125-129.

Dahl, S. & Brånby, G. (ed.), 1970: Göteborg i kartor. Stockholm, 95 p.

Damman, W., 1960: Die Windverhältnisse in Rhein-Main Gebiet. Erdkunde 14, pp 10-29.

Davenport, A.G., 1961: Rationale for determining design wind velocities. Am. soc. of civil eng., Transactions 126, part II, pp 184-213.

Davidsson, B., 1967: A summary of the New York urban air pllution dynamics research program. Jour. of the air poll. cont. ass. 17, pp 154-158.

Davidsson, J., 1966: Halmstads klimat under 1900-talet. Halland 1966, pp 69-89.

Davies, P.O.A.L. & Moore, D.J., 1964: Experiments on the behaviour of effluent emitted from stacks at or near the roof level of tall reactor buildings. Int. jour. of air and water poll. 8, pp 515-533.

Davis, F.K. & Newstein, H., 1968: The variation of gust factors with mean wind speed and with height. Jour. of appl. met. 7, pp 372-378.

Deacon, E.L., 1955: Gust variation with height up to 150 m. Quart. jour. of the royal met. soc. 81, pp 562-573.

Defaut, F., 1949: Zur Theorie der Hangwinde, nebst Bemerkungen zur Theorie der Berg- und Talwinde. Archiv f. Met., Geoph. und Biokl. A 1, pp 421-450.

Deland, R.J. & Binkowski, F.S., 1966: Comparison of wind at 500 feet over Minneapolis and Louisville with geostrophic wind. Jour. of the air poll. cont. ass. 16, pp 407-411.

Dilley, J.F. & Yen, 1971: Effect of a mesoscale type wind on the pollutant distribution from a line source. Atmosph. env. 5, pp 843-852.

Drivas, P.J. & Shair, F.H., 1974: Probing the air flow within thewake downwind of a building by means of a tracer technique. Atmosph. env. 8, pp 1165-1175.

Dubinsky, K., 1976: Vindstudier vid franska fältstationer. Reserapport del I och II. CTH, byggnadskonstruktion 1976:2, 104 p.

Durst, C.S., 1960: Wind speeds over short periods of time. Met. mag. 89, pp 181-186.

Eimern, J. v., 1955: Uber eine Windbeeinflussung durch die Randhöhen des Elbtals bei Hamburg. Met. Rundschau 8, pp 97-99.

Ekhart, E., 1953: Uber den täglichen Gang des Windes im Gebirge. Archiv f. Met., Geoph. und Biokl. B 4, pp 431-450.

Eriksson, B., 1967: Sannolikhetsfördelningar av temperatur, nederbörd och vind vid olika väderlekstyper. SMHI, Notiser och prel. rapp., serie meteorologi nr 14, 58 p.

- 1977: Den dagliga och årliga variationen av temperatur, fuktighet och vindhastighet vid några orter i Sverige. SMHI, Rapporter Nr RMK 8, 32 p.

Eriksson, B.E., 1957: Glaciological investigations in Jotunheimen and Sarek in the years 1955 to 1957. Geographica Nr 34, 203 p.

Estoque, M.A., 1961: A theoretical investigation of the sea breeze. Quart. jour. of the royal met. soc. 87, pp 136-146.

Findlater, J, 1964: The sea breeze and inland convection - an example of their interrealation. Met. mag. 93, pp 82-89.

Findlay, B.F. & Hirt, M.S., 1969: An urban-induced meso-cirkulation. Atmosph. env. 3, pp 537-542.

Flemming, G., 1966a: Wind, Richtungsböigkeit und Rauchausbreitung in Tal- und Hochflächenlage. Zeit. f. Met. 18, pp 330-351.

- 1966b: Zum Einfluss unterschiedlischer grossräumiger Strömungsrichtung und themischer Stabilität auf die lokalen Windrichtungsverhältnisse in Sachsen. Zeit. f. Met. 19, pp 34-43.

- 1967: Concerning the effect of terrain configuration on smoke dispersal. Atmosph. env. 1, pp 239-252

Flemming, G., 1968: Zur Abhängigkeit der Schneedichte von Windgeschwindigkeit, inbesondere an Waldgrenzen sowie im Vergleich zwischen Hochfläche und Tal. Zeit. f. Met. 20, pp 294-299.

Folkermann, L. & Österborg, B., 1974: Vindtunnelstudier i anslutning till brandförsök gällande grupphusbebyggelse. CTH, Byggnadskonstruktion 1974:4, 32 p.

Franck, O., Hamke, U., Brandt, C., Trost, J. & Westborg, S., 1972: Tages- und jahreszeitliche Varianten bioklimatischer Wirkfaktoren an der Ostseeküste in Abhängigkeit von Land- und Seewind an Strahlungstagen. Zeit. f. Met. 23, pp 165-169.

Fredberg, C.R.A., 1919: Det gamla Göteborg. Lokalhistoriska skildringar, personalia och kulturdrag. Del 1. Göteborg, 796 p.

Frederick, R.H., 1961: A study of the effect of tree leaves on wind movement. Monthly weather rev. 89, pp 39-44.

Frenkiel, J., 1962: Wind profiles over hills (in relation to wind power utilization). Quart. jour. of the royal met. soc. 88, pp 159-169.

- 1963: Gusts over hills (in relation to wind power utilization). Quart. jour. of the royal met. soc. 89, pp 281-283.

Fries, T.C.E., 1913: Botanische Untersuchungen im nördlichsten Schweden. Vetenskapliga och praktiska undersökningar i Lappland anordnade av Loussavaara-Kirunavaara aktiebolag. Ser 2: Flora och fauna 2, 361 p.

Geiger, R., 1927: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Die Wisserschaft 78, 246 p.

- 1961: Das Klima ... 4. Auflage, 646 p.

Georgii, H.W., 1970: The effects of air pollution on urban climates. WMO, Technical note 108, pp 214-237.

- 1972: Ermittlung der CO-Immissionskonzentrationen unter Berücksichtigung meteorologischer Einflussgrössen. Staub 32, pp 70-74.

Gifford, F., 1953: A study of low level trajectories at Oak Ridge, Tenn. Monthly weather rev. 81, pp 179-192.

Gill, D.S., 1968: The diurnal variation of the sea breeze at three stations in north-east Scotland. Met. mag. 97, pp 19-24.

Gold, E., 1936: Wind in Britain. Quart. jour. of the royal met. soc. 62, pp 167-206.

Goldie, A.H.R., 1925a: Waves at an approximately horisontal surface of discontinuity in the atmosphere. Quart. jour. of the royal met. soc. 51, pp 239-246.

- 1925b: Gustiness of wind in particular cases. Quart. jour. of the royal met. soc. 51, pp 357-362.

Gothenburg air pollution committe, 1966: The Gothenburg air pollution study 1959-64. Göteborg, 80 p.

Graham, I.R., 1968: An analysis of turbulent statistics at Fort Wayne, Indiana. Jour. of appl. met. 7, pp 90-93.

Grenander, S., 1912: Uber das Erscheinen der Seebrise an den schwedischen Ostküst. Uppsala, 97 p.

Grennfelt, P., 1975: Measurement of ozone in Gothenburg January 1972-August 1973 and studies of co-variation between ozone and other air pollutants. Institutet för vatten- och luftvårds forsk. B 221, 34 p.

Grennfelt, P., 1976a: Ozonepisoder på svenska Västkusten 1974 och 1975. Institutet för vatten- och luftvårdsforsk. B 301, 20 p.

- 1976b: Ozone episodes on the Swedish West coast. Institutet för vatten- och luftvårdsforsk. B 337, 11 p.

Grennfelt, P. & Heimler, B., 1976: Studier av kvävemonoxid och kvävedioxid i Göteborg under perioden 1 september 1974 - 30 april 1975. Institutet för vatten- och luftvårdsforsk. B 271, 20 p.

Grennfelt,P., Åkerström, Å. & Brosset, C., 1971: Determination of filter-collected air-borne matter by X-ray flourescence. Atmosph. env. 5, pp 1-6.

Gyllström, G., 1945: Monsunartade vindar i nordvästra Europa. Sv. geogr. årsb. 21, pp 218-241.

Göteborg. Kortfattad byggnadshistoria. Göteborg 1972, 16 p.

Halitsky, J., 1962: Diffusion of vented gas around buildings. Jour. of the air poll. cont. ass. 12, pp 74-80.

- 1965: Estimation of stack height required to limit contamination of building air intakes. Am. indust. hygiene ass. jour. 26, pp 106-116.

Hamberg, A., 1907: Die Eigenschaften der Schneedecke in der lappländischen Gebirgen. Naturwissenschaftliche Untersuchungen des Sarekgebirges in Schwedisch-Lappland Bd I, Abt. III, Lief. I, 68 p.

Hamm, J.M., 1969: Untersuchungen zum Stadtklima von Stuttgart. Tübinger geographische Studien 29, 212 p.

Hammer, R.R.I., 1883: Undersögelser ved Jacobshavns Isfjord og naereste omegn i vinteren 1879-80. Medd. om Grönland 4, pp 1-67.

Handa, K., 1975: Proposed dynamic gust factors for inclusion in the Swedish code of practice. CTH, Byggnadskonstruktion 1975:9, 29 p.

Handa, K. & Kärrholm, G., 1976: Wind loads on flat roofs. CTH, Byggnadskonstruktion 1976:3, 77 p.

Hansson, A. & Blomqvist, N., 1973: Fältmätningar och kartläggning av vindförhållandena i bostadsområdet Dr Forselius gata i Göteborg. CTH, Byggnadskonstruktion 1973:2, 101 p.

Hartz, N., 1895: Östgrönlands vegetationsforhold. Medd. om Grönland 18, pp 105-314.

Hass, W.A., Hoecker, W.H., Pack, D.H. & Angell, J.K., 1967: Analysis of low-level constant volume ballon (tetroon) flights over New York City. Quart. jour. of the royal met. soc. 93, pp 483-493.

Heimler, B., Grennfelt, P. & Brosset, C., 1975: Mätsystem för luftövervakning. Beskrivning av Hälsovårdsnämndens luftövervakningssystem i Göteborg samt IVL:s mätstation på Onsalahalvön. Institutet för vatten- och luftvårdsforsk. B 260, 21 p.

Helliwell, N., 1970: Some open scale measurements of wind over central London. WMO, Technical note 108, pp 46-48.

Heywood, G.S.P., 1931: Wind structure near the ground and its relation to temperature gradient. Quart. jour. of the royal met. soc. 57, pp 433-455.

Hindman, E.E., 1973: Air currents in a mountain valley deduced from the breakup of a Stratus deck. Monthly weather rev. 101, pp 195-200.

Hinds, W.T., 1970: Diffusion over coastal mountains of Southern California. Atmosph. env. 4, pp 107-124.

Hjeltström, S.A., 1877: Om den dagliga förändringen i vinden hastighet. Uppsala, 28 p.

Hoecker, W.H. & Angell, J.K., 1969: Effect of a sudden change in terrain height an the three-dimensional low-level air flow, as estimated from tetroon flights. Monthly weather rev. 97, pp 845-849.

Holtmeier, F.-K., 1971: Der Einfluss der orographischen Situation auf die Windverhältnisse im Spiegel der Vegetation. Erdkunde 25, pp 178-195.

Holmer, B., 1969: Vindmätningar i Göteborgs gator. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 486, 40 p.

- 1970: Vindegenskaper i bebyggelselandskapet. Byggmästaren 49, pp 8-11.

- 1971: Vinden i bebyggelselandskapet - exempel från Göteborg. Ymer 91, pp 44-67.

- 1974: Vindriktningsfält kring byggnader - aspekter på tolkning och tillämpning. Naturgeogr. inst., Uppsala, Rapport 34, pp 179-192.

Holzworth, G.C., Kauper, E.K. & Smith, T.B., 1963: Some low level trajectories over Los Angeles. Monthly weather rev. 91, pp 387-392.

Hoyt, J.H., 1966: Air and sand movements to the lee of dunes. Sedimentology 7, pp 137-143.

Hälsovårdsnämndens i Göteborg årsberättelse. Göteborg 1965-76.

Högström, U., 1973: Residence time of sulphurous air pollutants from a local source during precipitaion. Ambio 2, pp 37-41.

- 1975: Air pollution in Swedish communities. Ambio 4, pp 120-125.

Ingelmann-Sundberg, M., 1966: Vindtunnelprov på markbundna objekt. Teknisk tidskrift 96, pp 305-309.

- 1969: Några närströmningsproblem invid ytan av fasader och byggnader. Rapport fr. byggforsk. 25/69, pp 157-172.

Irminger, J.O.V. & Nökkentved, C., 1930: Wind pressure on buildings. Ingeniörsvidenskablige skrifter A 23, 132 p.

Jensen, M., 1953: Shelter effect. Copenhagen, 264 p.

Jensen, M. & Franck, N., 1963: Model-scale tests in turbulent wind. Part I: Phenomena dependent on the wind speed. Copenhagen, 97 p.

Jiusto, J.E.O. & Kaplan, M.L., 1972: Snow fall from lake-effect storms. Monthly weather rev. 100, pp 62-66.

Johansson, G., 1970: Stormskador i västra Sverige. Rapport fr. Byggforsk. R 33:1970, 365 p.

Johansson, P. & Sundvall, E., 1962: Differenser i det göteborgska temperaturklimatet våren och sommaren 1962. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 337, 50 p.

Johnson, W.B., Ludwig, F.L., Dabberdt, W.F. & Allen, R.J., 1973: An urban diffusion simulation model for carbon monoxide. Jour. of the air poll. cont. ass. 23, pp 490-498.

Jones, P.M. & de Larrinaga, M.A.B. & Wilson, C.B., 1971: The urban wind velocity profile. Atmosph. env. 5, pp 89-102.

Jones, P.M. & Wilson, C.B., 1968: Wind flow in an urban area: A comparison of full scale and model flows. Building sci. 3, pp 31-40.

Kaiser, H., 1954: Uber die Stromungsverhältnisse im Bergland. Met. Rundschau 7, pp 214-217.

Krathmann, R., 1974: Vindförhållanden, speciellt i gångtunnlar och passager, inom tre bostadsområden i stadsdelen Tynnered, Göteborg. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 509, 55 p.

Kratzer, A., 1937: Das Stadtklima. Die Wisseschaft 90.

- 1956: Das Stadt... 2.e Auflage, 184 p.

Kruuse, C., 1911: Rejser og botaniske undersögelser i Östgrönland mellem 65°30' og 67°20' i aarene 1898-1902 samt Angmagsalik-egnens vegetation. Medd . om Grönland 49, 304 p.

Lamb, R.G. & Neiburger, M., 1971: An interim version of a generalized urban air pollution model. Atmosph. env. 5, pp 239-264.

Landsberg, H.E., 1970: Climates and urban planning. WMO, Technical note 108, pp 364-374.

Lawson, T.V., 1968: Air movement. Architects´jour. inf. lib. pp 1413-1430.

- 1971: Landscape effets with particular reference to urban situations. Phil. trans. of the royal soc. of London A 269, pp 491-501.

Lighthill, M.J. & Silverleaf, A. (ed.), 1971: A discussion on architectural aerodynamics. Phil. trans. of the royal soc. of London A 269, pp 321-554.

Liljequist, G.H., 1957: Wind structure in the low layer (Maudheim, 71°03'S, 10°56'W). Norwegian-British-Swedish Antarctic expedition 1949-52, Scientific results vol II, pp 187-234.

- 1962: Meteorologi. Stockholm, 438 p.

Lindblom, M., 1963: Vindens aktivitet i ett bohuslänskt kustområde. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 373, 37 p.

- 1964: Vindstudier i Göteborg. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 425, 9 p.

Lindholm, F., 1955: Sunshine and cloudiness in Sweden 1901-30. Geogr. annaler XXXVII, pp 1-50.

Lindqvist, S., 1970: Bebyggelseklimatiska studier. Medd. fr. Lunds univ. geogr. inst., Avhandlingar LXI, 205 p.

- 1973: Vinden i kustklimatet - metodstudier. Naturgeogr. inst., Göteborg, Rapport 5, 45 p.

Ludwig, F.L., 1970: Urban temperature fields. WMO, technical note 108, pp 80-107.

Lundgren, S., 1969: Dynamisk vindstruktur och därav orsakade laster på byggnader. Rapport fr. byggforsk. 25/69, pp 69-83.

Luthander, S. & Gullstrand, T., 1945: Undersökning rörande byggnaders läbildande förmåga. KTH Aero-rapport 93-10.

Lyons, W.A. & Olsson, L.E., 1973: Detailed mesometeorological studies of air pollution dispersion in the Chicago lake breeze. Monthly weather rev. 101, pp 387-403.

Magnusson, P., 1966: Vindstudier i delar av fjällområdet söder och sydväst om Torneträsk mellan Vassijaure och Stensbäckens stationer. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 464, 27 p.

Marr, R.L., 1970: Geländeklimatische Untersuchung im Raum südlich von Basel. Basler Beiträge zur Geographie 12, 155 p.

Marsh, K.J. & Foster, M.D., 1967: An experimental study of the dispersion of the emissions from chimneys in Reading - I: the study of long-term average concentrations of sulphur dioxide. Atmosph. env. 1, pp 527-550.

Mather, J.R., 1974: Climatology: fundamentals and applications. McGraw-Hill, 412 p.

Mattsson, J.O., 1967: Mikro- och lokalklimatindikering medelst infraröd-termografi. Sv. geogr. årsb. 43, pp 191-211.

- 1968: Termisk registrering med infrarödtelevisionssystem - ny teknik vid mikroklimatiska undersökningar. Sv. geogr. årsb. 44, pp 36-52.

- 1969: Thermal patterns in the landscape recorded with infrared technique and simulated in model experiments. Geogr. annaler 51 A, pp 219-238.

- 1974: Försök till bedömning av terrängens förutsättningar att påverka det lokala temperaturklimatet vid utstrålningsväder. Naturgeogr. inst., Lund, Rapporter och notiser 24, 24 p.

- 1975: Några exempel på lokalklimatisk terrängbedömning och synpunkter på praktisk användning av sådan. Natugeogr. inst., Lund, Rapporter och notiser 26, 14 p.

Modén, H., 1939: Beräkning av medeltemperaturen vid svenska stationer. Medd. fr. SMHA, ser. Uppsatser 29, 13 p.

Mohr, T., 1971: Kármán-Wirbel im Lee von Jan Mayen. Met. Rundschau 24, pp 30-31.

Moore, D.J., 1974: The prediction of mean hourly average maximum ground level concentration of sulphur dioxide at Tilbury. Atmosph. env. 8, pp 543-554.

Munn, R.E., 1966: Descriptive micrometeorology. Advances in geophysics, supplement 1, 245 p.

- 1970: Airflow in urban areas. WMO, Technical note 108, pp 15-39.

Munn, R.E. & Reimer, A., 1968: Turbulence statistics at 30 and 200 feet at Pinawa, Manitoba. Atmosph. env. 2, pp 409-417.

Munthe, H., 1923: Göteborgstraktens geologi: inledning. pp 124-148 i Nordenskjöld m fl: Göteborgstraktens natur. Göteborg, 515 p.

Mühleisen, R., 1977: Starkwinde an und auf dem Bodensee. Met. Rundschau 30, pp 15-22.

National physical laboratory, 1963: Proceedings on a conference of wind effects on buildings and structures. Vol I. Teddington.

Nicholson, S.E., 1975: A pollution model for street-level air. Atmosph. env. 9, pp 19-31.

Nordenskjöld, O., 1923: Göteborgstraktens ytformer och deras förhållande till stadens läge. pp 503-515 i Nordenskjöld m fl: Göteborgstraktens natur. Göteborg, 515 p.

Norrman, J.O., 1964: Lake Vättern. Investigations on shore and bottom morphology. Geogr. annaler XLVI, pp 1-238.

Oke, T.R. & Hannel, F.G., 1970: The form of the urban heat island in Hamilton, Canada. WMO, Technical note 108, pp 113-126.

Olgyay, V., 1963: Design with climate. Princeton, 190 p.

Oskarsson, K.-M., 1961: Nederbördsstudier i södra Bohuslän under juli-oktober 1959. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 287, 23 p.

Owen, P.R., 1971: The prospect ahead. Phil. trans. of the royal soc. of London A 269, pp 545-554.

Pack, D.H. & Angell, J.K., 1963: A preliminary study of air trajectories in the Los Angeles basin as derived from tetroon flights. Monthly weather rev. 93, pp 583-604.

Panofsky, H.A. & Townsend, A.A., 1964: Change of terrain roughness and the wind profile. Quart. jour. of the royal met. soc. 90, pp 147-155.

Peace, R.L. & Sykes, R.B., 1966: Mesoscale study of a lake effect snow storm. Monthly weather rev. 94, pp 495-507.

Persson, B., 1974: Stadstrafikens inverkan på människa och miljö. Luftföroreningar. CTH, Stadsbyggnad 70, 57 p.

Persson, W., 1936: Vindhastighetens dagliga gång vid några svenska stationer. Medd. fr. SMHA, ser. Uppsatser 6, 12 p.

Pettersson, K.-A., 1968: En studie inom Inlands södra härad av topografi, vind och träd. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 473, 37 p.

Pooler, F., 1963: Airflow over a city in terrain of moderate relief. Jour. of appl. met. 2, pp 446-456.

Ramachandran, S., 1969: A theoretical study of cup and vane anemometers. Quart. jour. of the royal met. soc. 95, pp 163-180.

Rodhe, H., Persson, C. & Åkesson, O., 1972: An investigation into regional transport of soot and sulphate aerosols. Atmosph. env. 6, pp 675-693.

Rowles, K., 1972: Sea-breeze front near the south coast of England. Met. mag. 101.

Rudberg, S., 1963: Geomorphological processes in a cold semi-arid region. pp 139-150 in Müller et al: Axel Heiberg island. Preliminary report. McGill university, 241 p.

- 1968: Winderosion - preparation of maps showing the direction of eroding winds. Biuletyn peryglacjalny 17, pp 181-193.

- 1969: Distribution of small-scale periglacial and glacial geomorphological features on Axel Heiberg island, Northwest territories, Canada. pp 129-159 in Péwé, T.L. (ed.): The periglacial environment. McGill-Queens university, 487 p.

- 1970: Naturgeografiska seminarieuppsatser vid Göteborgs universitet höstterminen 1959 - vårterminen 1969. Gothia 10, 164 p.

- 1978: Hur landet formades. Sv. turistför. årsskrift, pp 168-187.

Runge, F., 1958: Windgeformte Bäume in den Tälern der Zillertaler Alpen bzw. Allgäuer Alpen. Met. Rundschau 11, pp 28-30.

Ryd, H., 1974: Climatological data in building design with respect to comfort. Statens råd f. byggnadsforsk. Document D20:1973, pp 49-89.

Rydelius, A. & Kullgren, J., 1972: Enkätundersökning och vindtunnelstudier av bostadsområdet Dr Forselius gata i Göteborg. CTH, Byggnadskonstruktion 1972:8, 55 p.

Råde, L., 1966: Sannolikhetslära och statistik. Stockholm, 288 p.

Samuelsson, C., 1926: Studien über die Wirkungen des Windes in den kalten und gemässigten Erdteilen. Bull. of the geol. inst. of Uppsala XX, pp 55-230.

Samuelsson, K., 1929: Göteborgs byggnadsutveckling. Byggmästaren 7, pp 109-114.

Sandberg, E., 1929: Studier över västra Mellansveriges klimat, särskilt vindförhållanden och nederbörd. Sv. geogr. årsb. 5, pp 51-88.

Sandström, J.W., 1912: Uber die Energieumwandlungen in der Atmosphäre. Kungl. sv. vetenskapsakad. handl. 47.

- 1913: Eine metorologische Forchungsreise in den schwedischen Hochgebirgen. Kungl. sv. vetenskapsakad. handl. 50.

- 1936: Den svenska vintern. Sv. turistför. årsskrift, pp 209-245.

Schüepp, M. et al, 1963: Die Windverhältnisse im Davoser Hochtal. Archiv f. Met., Geoph. und Biokl. B 12, pp 337-349.

Schytt, V., 1964: Scientific results of the Swedish Glaciological Expedition to Nordaustlandet, Spitsbergen, 1957 and 1958. Geogr. annaler XLVI, pp 243-281.

Sernader, R., 1905: Flytjord i svenska fjälltrakter. Geol. för. i Stockholm förhandl. 27, pp 42-84.

Shellard, H.C., 1958: Extreme wind speeds over Great Britain and Northern Ireland. Met. mag. 87, pp 257-265.

- 1963: The estimation of design wind speeds. Proc. on a conf. of wind eff. on buil. and struc. Vol I, Teddington, pp 29-52.

Sherlock, R.H., 1952: Variation of wind velocity and gusts with height. Proc. of the Am. soc. of civ. eng. 78, No. 126, pp 1-26.

Siby, I., 1977: Välsviken. En undersökning av ett områdes temperatur- och vindklimat. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 515, 54 p.

Sjölander, G., 1965: En statistisk undersökning av kuling och storm i svenska farvatten. Del 1: Västkusten, norra delen. SMHI, Notiser och prel. rapporter 12, 25 p.

SMHI, 1976: Klimatet i Göteborgs och Bohus län. Länsstyrelsen i O-län, 72 p.

Smith, M.F., 1974: A short note on a sea-breeze crossing East Anglia. Met. mag. 103.

Snyder, W.H. & Lawson, R.E., 1976: Determination of a necessary height for a stack close to a building - a wind tunnel study. Atmosph. env. 10, pp 683-691.

Steinhauser, F., 1950: Uber die Windverstärkung an Gebirgzügen. Archiv f. Met., Geoph. und Biokl. B 2, pp 39-64.

Stenborg, T., 1965: Problems concerning winter run-off from glaciers. Geogr. annaler 47 A, pp 141-184.

Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung. Folge 1. Innenministerium, Baden-Würtemberg, 1977, 47 p.

Sundborg, Å., 1951: Climatological studies in Uppsala with special regard to the temperature conditions in the urban area. Geographica 22, 111 p.

Sweden´s case study for United Nations conference on the human environment, 1971: Air pollution across natioal boudaries. The impact on the environment of sulphur in air and precipitation. Stockholm, 96 p.

Taesler, R., 1971: Klimatdata för Sverige. Stockholm, 672 p.

- 1978: Urban-meteorologiska mätningar i Uppsala, mätmetoder och preliminära resultat. Statens inst. f. byggnadsforsk., Medd. M78:2, p 23.

Thuresson, S., 1973: Vindtunnelstudie i anslutning till brandförsök gällande grupphusbebyggelse. CTH, Byggnadskonstruktion 1973:19, 127 p.

Torrance, V.B., 1972: Wind profile over a suburban site and wind effects on a half full-scale model building. Building sci. 7, pp 1-12.

Urfer-Henneberger, C., 1970: Neuere Beobachtungen über die Entwicklung des Schönwetterwindsystems in einem V-förmigen Alpental. Archiv f. Met., Geoph. und Biokl. B 18, pp 21-42.

Wallén, A., 1923: Klimatet i Göteborg och dess omgivningar. pp 1-72 i Nordenskjöld m fl: Göteborgstraktens natur. Göteborg, 515 p.

Warming, E., 1888: Om Grönlands vegetation. Medd. om Grönland 12, 245 p.

Wedding, J.B., Lombardi, D.J. & Cermak, J.E., 1977: A wind tunnel study of gaseous pollutants in city street canyons. Jour. of the air poll. cont. ass. 27, pp 557-566.

Weischet, W., 1951: Die Baumneigung als Hilfsmittel zur geographischen Bestimmung der klimatischen Windverhältnisse. Erdkunde 5, pp 221-227.

Wieringa, J., 1973: Gust factors over open water and built-up country. Boundary-layer met. 3, pp 424-441.

Wilson, O., 1963: Cooling effect of an Antarctic climate on man. Norsk polarinst., Skrifter 128, 32 p.

Wise, A.F.E., 1971: Effects due to groups of buildings. Phil. trans. of the royal soc. of London A 269, pp 469-483.

Wimarson, N. (red.), 1923: Göteborg. Göteborg, 978 p.

Wirén, B., 1971: Orientering om modellförsök i vindtunnel. CTH, Byggnadskonstruktion 1971:13, 48 p.

Wise, A.F.E., Sexton, D.E. & Lillywith, M.S.T., 1965: Studies of air flow round buildings. Architects´jour. inf. lib., pp 1185-1189.

WMO, 1970: Urban climates. WMO, Technical note 108, 390 p.

Vukovich, F.M., 1971: Theoretical analysis of the effect of mean wind and stability on a heat island circulation characteristic of an urban complex. Monthly weather rev. 99, pp 919-926.

Yoshino, M.M., 1964a: Some aspects on the distribution of the surface winds within a small area. Tokyo jour. of clim. 1, pp 60-67.

- 1964b: Some local characteristics of the winds as revealed by wind-shaped trees in Rhone valley in Switzerland. Erdkunde 18, pp 28-38.

- 1973: Studies on wind-shaped trees: their classification, distribution and significance as climatic indicator. Hosei university, Tokyo, Climatological notes 12, pp 1-52.

- 1975: Climate in a small area. Tokyo, 549 p.

Yoshino, M.M. & Yoshino, M.T., 1963: Lokalklima und Vegetation im Kirshima-Gebirge im südlichen Kyushu, Japan. Erdkunde 17, pp 148-162.

Yoshino, M.M., Yoshimura, M., Owada, M., Ueda, S. & Mitsui, K., 1973: Local climatological observations made in the Ajdovscina region, Slovenia, in November 1970. Hosei university, Tokyo, Climatological notes 14, pp 21-40.

Åkerström, G., 1965: Studier av träddeformation orsakad av vind i norra Halland. Naturgeogr. inst., Göteborg, seminarieuppsats 438, 20 p.

Ångstöm, A., 1932: Some characteristics of the climate of Stockholm. Geogr. annaler XIV, pp 165-196.

- 1938: Lufttemperatur och temperaturanomalier i Sverige 1901-30. Medd. fr. SMHA Bd 7, N:o 2, 69 p.

- 1968: Sveriges klimat. 2:a uppl., 2:a tryck., Stockholm, 157 p.

Östman, C.J., 1926: Om stormar vid Svealands och Götalands kuster. Medd. fr. SMHA Bd 3, N:o 6, 37 p.

- 1928: Om vindskalor och vindmätare i svensk meteorologi. Medd. fr. SMHA Bd 4, N:o 6, 16 p.